

Proyecto Fin de Carrera

Ingeniería de Organización Industrial

Gestión del inventario en el proceso de distribución de medicamentos en el Hospital Universitario Virgen del Rocío

Autor: Nicolás Aldasoro Alonso

Tutor: José Manuel Framiñan Torres

**Dpto. de organización industrial y gestión de
empresas**

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2019





Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería de Organización Industrial

Gestión del inventario en el proceso de distribución de medicamentos en el Hospital Universitario Virgen del Rocío

Autor:

Nicolás Aldasoro Alonso

Tutor:

José Manuel Framiñan Torres

Catedrático de Universidad

Dpto. de organización industrial y gestión de empresas

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019





Proyecto Fin de Carrera: Gestión del inventario en el proceso de distribución de
medicamentos en el Hospital Universitario Virgen del Rocío

Autor: Nicolás Aldasoro Alonso

Tutor: José Manuel Framiñan Torres

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los
siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019



El Secretario del Tribunal



A mi familia y amigos

A mis maestros





Agradecimientos

Este trabajo ha sido fruto del trabajo realizado en la Universidad de Sevilla, en la cual me he sentido muy integrado desde el primer día. Agradezco a mi familia y a mis amigos de Pamplona que me han estado apoyando desde la distancia para poder terminar satisfactoriamente este grado. También agradecer a mis amigos de Sevilla, que gracias a ellos mi etapa universitaria en esta ciudad ha sido inolvidable.

Por último, agradecer a los profesores que me han ayudado a conseguir mis objetivos y especialmente a mi tutor de este proyecto y a mis dos co-tutoras del Hospital, sin ellos este proyecto no habría sido posible.

Nicolás Aldasoro Alonso
Sevilla, 2019



Resumen

En el Hospital Universitario Virgen del Rocío se está implantando un nuevo método de distribución de medicamentos a través de los Armarios Automáticos de Distribución (AAD) al área de hospitalización de este Hospital. En este proyecto se desarrolla una herramienta para calcular el inventario óptimo que debe de haber en el AAD de cada medicamento para hacer frente a la demanda que se produce. También se realiza una descripción detallada del proceso de distribución de medicamentos, se modela a través del software Bizagi y se estudia su trazabilidad. Con este proyecto se pretende descender la carga de trabajo de los profesionales del Hospital, reducir el número de medicamentos caducados y dar un servicio sanitario satisfactorio a los pacientes.





Abstract

The Virgen del Rocío University Hospital is setting up a new method to distribute drugs by the automated dispensing cabinet (ADC) in the Hospital area. This project develops a tool to calculate the optimum stock for each drug that should be in the ADC to satisfy the demand. It also describes detailly the process of the distribution of the drugs, it is modeled by Bizagi software, and it is studied its traceability. This project pretends to reduce the workload, to descend the number of expired drugs and to provide a satisfactory sanitary service to the patients.



ÍNDICE

| | |
|---|--------------|
| AGRADECIMIENTOS..... | IX |
| RESUMEN..... | X |
| ABSTRACT | XII |
| ÍNDICE..... | XIII |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | XV |
| ÍNDICE DE ECUACIONES | XVII |
| ÍNDICE DE EXPRESIONES | XVIII |
| CAPÍTULO I. OBJETO DEL PROYECTO..... | 1 |
| 1. EL OBJETIVO GENERAL | 2 |
| 1.1. LOS OBJETOS ESPECÍFICOS | 4 |
| 2. EL CONTEXTO | 4 |
| 3. SUMARIO | 7 |
| CAPÍTULO II. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES..... | 9 |
| 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 9 |
| 2. RESUMEN DE LA DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 15 |
| CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA..... | 17 |
| 1. GESTIÓN DE PROCESOS DE NEGOCIOS | 17 |
| 2. GESTIÓN INVENTARIOS | 18 |
| 3. PREVISIÓN DE LA DEMANDA | 24 |
| 4. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA SELECCIONADA..... | 27 |



CAPÍTULO IV. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA34

| | |
|--|-----------|
| 1. PROCESO Y PROCEDIMIENTO DEL SUMINISTRO DE MEDICAMENTOS | 34 |
| 4.1. PROCESO..... | 34 |
| 4.2. PROCEDIMIENTO | 38 |
| 4.3. MODELADO | 41 |
| 4.4. TRAZABILIDAD | 41 |
| 2. CÁLCULO DEL NIVEL DE INVENTARIO | 42 |
| 3. RESULTADOS..... | 53 |

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES56**CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA58**

| | |
|-----------------------------|-----------|
| 1. BIBLIOGRAFÍA..... | 58 |
|-----------------------------|-----------|

CAPÍTULO VII: ELEMENTOS ADICIONALES60

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Armario principal [fuente: Elaboración propia] | 13 |
| Figura 2 Armario auxiliar [fuente: Oferta técnica del armario (Algoritmo, Procesos y Diseños S.A., 2014)] | 13 |
| Figura 3 Cajonera del armario principal [fuente: Oferta técnica del AAD (Algoritmo, Procesos y Diseños S.A., 2014)] | 14 |
| Figura 4 Cajón del AAD principal [fuente: Oferta técnica del armario(Algoritmo, Procesos y Diseños S.A., 2014)] | 14 |
| Figura 5 Comportamiento de la demanda con el modelo (Q,r) [fuente: Bonini et al(2001)] | 22 |
| Figura 6 Comportamiento del inventario en el modelo (R,T) [fuente: UDLAP] | 23 |
| Figura 7 Comportamiento de la demanda con el modelo Order Up To S [fuente: Singhum (2016)] | 24 |
| Figura 8 Elementos básicos de B.P.M.N. [fuente: White et al (2008)] | 29 |
| Figura 9 Organización de los almacenes del Hospital Universitario Virgen del Rocío [fuente: elaboración propia] | 35 |
| Figura 10 Relación de los carruseles [fuente: elaboración propia] | 36 |
| Figura 11 Trazabilidad del medicamento [Fuente: elaboración propia] | 42 |
| Figura 12 Hoja de historial de las demandas [fuente: elaboración propia] | 45 |
| Figura 13 Hoja de parámetros [fuente: elaboración propia] | 47 |
| Figura 14 Gráficas comparativas con diferentes valores de m [fuente: elaboración propia] | 48 |
| Figura 15 Roturas de stock con $m=3$, $m=6$, $m=10$ [fuente: elaboración propia] | 53 |
| Figura 16 Procedimiento de suministro de medicamentos al AAD y finalmente al paciente en una jornada de reposición [fuente: elaboración propia] | 61 |
| Figura 17 Procedimiento de verificación del estado del AAD en una jornada de no reposición [fuente: elaboración propia] | 61 |





ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|--|----|
| Ecuación 1 Nivel de inventario..... | 30 |
| Ecuación 2 Pronóstico de la demanda de t | 30 |
| Ecuación 3 Desviación típica del error previsto | 31 |
| Ecuación 4 Error entre el pronóstico y la demanda real | 31 |
| Ecuación 5 Sumatorio del error de m periodos | 32 |



ÍNDICE DE EXPRESIONES

| | |
|--|----|
| Expresión 1 El valor del inventario en t si es día de reposición | 49 |
| Expresión 2 Valor del inventario en t si es día de reposición y I_{t-1} es mayor que el mínimo | 49 |
| Expresión 3 Valor del inventario en t si es día de reposición y I_{t-1} es menor que el mínimo | 49 |
| Expresión 4 Rotura de stock de un medicamento | 50 |
| Expresión 5 Valor de la reposición si no es día de reposición | 50 |
| Expresión 6 Valor de la reposición si es día de reposición y I_{t-1} es mayor que el mínimo | 50 |
| Expresión 7 Valor de la reposición si es día de reposición y I_{t-1} es menor que el mínimo | 50 |



CAPÍTULO I. OBJETO DEL PROYECTO

El objeto de este proyecto es el estudio y mejora del proceso de distribución de medicamentos al área de hospitalización del Hospital Universitario Virgen del Rocío (Sevilla) a través de los Armarios Automáticos de Dispensación (AAD). Los AAD funcionan como los botiquines tradicionales de planta. Los AAD han sido instalados por la empresa Algoritmos, Procesos y Diseño S.A. (APD), una empresa española dedicada a la innovación en varios sectores, incluyendo innovación en el sector sanitario. Estos AAD tienen implantado un software que conecta la prescripción electrónica de los pacientes ingresados al AAD, y permite registrar el consumo de medicamentos por pacientes, controlando el stock de los medicamentos configurados en el AAD, los cuales tienen establecidos unos estocajes máximos y mínimos. De todos los AAD instalados en el Hospital se ha escogido uno para su análisis y, posteriormente extender este estudio al resto. Dicho AAD se encuentra en la segunda planta Norte A1 del Hospital General. Este AAD suministra medicamentos a los pacientes de la Unidad de Gestión Clínica (UGC) de Medicina Interna (UCAMI).

En este proyecto se analizará el stock necesario de cada medicamento para satisfacer la demanda basándonos en datos reales y también se calculará un stock de seguridad ya que esta demanda puede fluctuar. La falta de medicamentos en el AAD puede suponer graves problemas en la asistencia del paciente. Por tanto, con este proyecto se quiere reducir el riesgo de rotura de stock.

En primer lugar, realizaremos una descripción completa del proceso de dispensación de medicamentos para definirlo por completo y así poder identificar a todas las partes involucradas. A continuación, se describirá la metodología para describir el proceso, el procedimiento, cómo modelarlo y la trazabilidad del medicamento desde que llega al almacén general hasta que es administrado a un paciente. Con este primer paso se quiere conocer el proceso en el cual se basa este proyecto para que se puedan estudiar los



posibles problemas que puedan surgir. Es imprescindible conocer bien el proceso para aplicar técnicas de mejora continua y optimizar los recursos humanos o materiales que se emplean.

Un problema importante de esta UGC es la diversidad de medicamentos que deben de tener a su disposición, ya que los tipos de pacientes que se trata en esta unidad son pluripatológicos y crónicos, es decir, es una especialidad que intenta abordar al paciente en su globalidad, (Murphy, 2018). Por este motivo nos encontramos con una falta de espacio en el AAD y no se pueden introducir todos los medicamentos que se necesitan, es decir, es necesario optimizar el espacio disponible. Gracias a esta optimización se reducirá el número de fármacos "no disponibles", que son aquellos para los que hay que hacer un pedido fuera del proceso que estamos estudiando, ya que no están dentro del registro del AAD. Estos medicamentos "no disponibles" son los que dan mas carga de trabajo a los profesionales y los que causan más problemas. También descenderá el número de medicamentos "agotados" (aquellos en que su stock es igual a cero).

Otro objetivo que se quiere conseguir con este proyecto es reducir el número de medicinas caducados, reduciendo así los costes totales del Hospital. Al optimizar el nivel de inventario del AAD conseguiremos que no haya un exceso de stock, y por lo tanto haya una mayor rotación de los fármacos.

Para realizar este estudio se cuenta con una base de datos de 87 días (desde el 20/07/2018 al 14/10/2018) dónde se indican los medicamentos utilizados en ese periodo de días y las cantidades demandadas. También se tiene una tabla con los medicamentos "no disponibles" que se han demandado en esa planta.

1. El objetivo general



El objetivo general de este Trabajo fin de Grado se basa en el desarrollo de una herramienta basada en Excel para mejorar el proceso de dispensación de medicamentos por medio de este AAD. Al ser un sistema novedoso carece de un modelo de referencia para determinar el nivel de inventario óptimo que debe encontrarse en el AAD. El espacio, al ser limitado, hay que utilizarlo lo mejor posible y así hacer posible que la diversidad de fármacos sea mayor. Este servicio se incluye en la logística hospitalaria, la cual permite utilizar técnicas para facilitar la cadena de suministros. Una óptima gestión de la logística hospitalaria garantiza reducir los costes de hospital y mejorar la calidad de la atención sanitaria (Lindsay, 2016).

Las consecuencias de este desarrollo son varias. En primer lugar, se reducirán los medicamentos "no disponibles", siendo éstos los que más carga de trabajo generan ya que no están en el registro del dispensador, y son los enfermeros/as quienes tienen que realizar el pedido. En segundo lugar, se busca reducir el número de medicamentos "agotados". Éstos son aquellos que se encuentran dentro del registro del AAD, pero su stock es igual a cero. Esto es uno de los aspectos más importantes, ya que la ausencia de un medicamento puede causar consecuencias fatales para el paciente. Por último, se reducirá la cantidad de fármacos que caduquen y haya que rechazar, pues el suministro de un medicamento vencido o dañado pone en riesgo la salud y la vida de los pacientes del hospital o de todos aquellos que los consuman, siendo estas repercusiones aún más severas que cualquier pérdida económica pueda implicar para el hospital.

También se quiere modelar y definir el alcance de la mejora realizando un estudio de cada una de las actividades del proceso. Con esto se conseguirá identificar de forma general los participantes que actúan en el proceso y de este modo la Unidad destinada a mejorar los procesos del Hospital puede aplicar técnicas de mejora continua y estudiar los posibles problemas que puedan surgir en un futuro, aumentando así la calidad del proceso y en cómputo global la del Hospital.



1.1. Los objetos específicos

Para conseguir llevar a cabo el objetivo general mencionado anteriormente, es necesario alcanzar unos objetivos específicos, que son:

1. Buscar en la literatura algún problema similar o algún estudio en el que podamos basarnos para resolver nuestro problema. Este estudio de la bibliografía es muy importante debido a que sabremos los antecedentes de este problema y no incurriremos en los errores que se han cometido en otros estudios.
2. Aplicar la técnica de Business Process Modeling para poder modelar el proceso que se va a mejorar, definiendo las actividades y los actores, descubriendo cuál es el alcance de la mejora, y reproduciendo el proceso de una forma muy visual, accesible a cualquier usuario. También se aplicará el lenguaje BPMN (Business Process Model Notation), para modelar el proceso.
3. Desarrollo de una herramienta basada en Excel para calcular el inventario necesario y suficiente para satisfacer la demanda de los pacientes de la planta seleccionada del Hospital General, el cual depende de las demandas reales de los periodos anteriores, del error cometido entre la predicción de la demanda y la demanda real, y del tiempo de reposicionamiento.
4. Evaluar los resultados obtenidos. Al no tener los datos de las roturas de stock anteriores a nuestro proyecto, no podremos comparar los resultados, pero si podremos extraer nuestras propias conclusiones variando los diferentes parámetros del modelo.

2. El contexto



La gestión de inventarios en los hospitales representa un desafío mayor que en otros tipos de empresas o industrias debido a que la falta de recursos en el inventario puede suponer una disminución en la calidad de la asistencia a los pacientes, lo que hace necesario el desarrollo de herramientas que faciliten un manejo efectivo de las existencias para este tipo de instituciones.

La logística hospitalaria es una herramienta que permite el manejo de muchas secciones del hospital, como la compra de medicamentos, la distribución final, el almacenaje y la salida del paciente del hospital, entre otros. Una buena gestión de esta logística conllevará unas mejoras sustanciales en el servicio sanitario.

Dicha herramienta tiene dos puntos clave (Lindsay, 2016): La gestión de inventarios y la programación de recursos. Este estudio se centrará en la gestión de los inventarios. La gestión de inventarios busca controlar el costo y el nivel de inventario de los almacenes del hospital, y en este estudio en concreto, el inventario de los AAD, que de una forma directa afectan al inventario general del hospital. Así, se desarrollará una herramienta que pronostique la demanda y que precise la tendencia, minimizando el error entre la previsión y la demanda real hará que se tenga un sistema de control de inventario eficaz.

Para controlar mejor este inventario y mejorar la calidad en la asistencia de los hospitales, se están introduciendo nuevas tecnologías, como son los AAD de medicamentos. Este sustituto a los armarios tradicionales no-automáticos se introdujeron en el mercado en la década de los 60 (Hernández & Poveda, 2001), aunque la adaptación a los hospitales fue lenta. Hoy en día, la gran mayoría de hospitales importantes cuentan con este sistema en sus instalaciones. Con este nuevo método se consiguió descentralizar el sistema de distribución de fármacos aumentando el control y la seguridad de los pacientes, ya que hay menos riesgo de incurrir en un error. También los/as enfermeros/as tienen acceso directo a los medicamentos las 24h del día pudiendo comenzar el tratamiento del paciente en cualquier momento.



Actualmente estos AAD se están instalando en el Hospital Universitario Virgen del Rocío de Sevilla. Ya se ha empezado a utilizar en las diferentes plantas del Hospital desde finales del año 2017, por lo que lleva poco tiempo aplicándose en este Hospital. De hecho, el armario escogido para este trabajo está operando desde marzo del 2018.

Con anterioridad a este sistema, había un modelo más manual donde la carga de trabajo era mayor, conocido como Sistema de dispensación de Dosis Unitario a través de carros nodrizas (SDMDU). Consistía en preparar la medicación diaria necesaria para los pacientes en cassetes que contenían varios cajetines. Cada control de planta tenía uno o dos cassetes, en función del número de habitaciones. Cada cajetín contenía la medicación de un solo paciente, el cual iba identificado con la habitación y nombre del paciente. Es decir, cada día los operarios debían preparar varios carros para abastecer de medicamentos a todos los pacientes ingresados en el complejo, y a continuación un profesional transportaba ese carro hasta su destino. Este proceso era muy laborioso, y aun se sigue utilizando en algunas áreas del Hospital donde no se ha instalado el AAD. Era un modelo centralizado, ya que todo el reparto de medicamentos se hacía desde el almacén principal hasta el paciente. El nuevo sistema es descentralizado. El método de suministro de fármacos inicial contaba con muchos puntos débiles:

- El tiempo de llegada de un fármaco a la Unidad del Hospital que lo requiere era muy alto en comparación con el nuevo sistema.
- La enfermería de la UGC no tenía acceso directo las 24h del día a los medicamentos en caso de emergencia, o para la primera toma del tratamiento.
- El riesgo de incurrir en un error era más fácil, ya que con los AAD la enfermería puede consultar el tratamiento prescrito de cada paciente, y además el software le indica dónde se encuentra ese fármaco en el armario.



- No se llevaba un control de los profesionales que accedían a los medicamentos de los pacientes, es decir, no estaba restringido el acceso a los medicamentos para su manipulación.
- Había que hacer una reposición diaria mínimo, aumentando la carga de trabajo al personal que tiene esta tarea, siendo posible la necesidad de hacer más de una reposición diaria.

Este sistema aun se sigue aplicando en el hospital, ya que no todas las plantas tienen instalados un AAD. De modo que la Unidad de farmacia aún debe de gestionar la distribución por medio de los dos sistemas.

3. Sumario

Para su mejor comprensión, el proyecto se ha estructurado en 6 capítulos:

En el capítulo I se presenta el objetivo del proyecto, el objetivo general que se persigue, los objetivos específicos y el contexto para poner en situación al lector del trabajo, y explicar qué problemas se van a resolver y cómo.

En el capítulo II se describe el problema completo de una forma rigurosa y sistemática. Se plantea el problema que más adelante se desarrolla y resuelve.

El capítulo III muestra las técnicas y metodologías que se va a seguir para resolver el problema descrito en el capítulo II. Este capítulo incluye los siguientes apartados: metodología de Gestión de Procesos de Negocios, metodología para la determinación del nivel de inventario, metodología para la previsión de la demanda y descripción de la metodología seleccionada. En los tres primeros apartados se exponen las diferentes técnicas que pueden ser utilizadas para abordar este problema, y se selecciona una de una forma justificada. En el último apartado de este capítulo se explica detalladamente las metodologías seleccionadas en los apartados anteriores.



En el capítulo IV se aplican las metodologías seleccionadas en el anterior capítulo a nuestro problema. Se explica por pasos los cálculos matemáticos realizados y los resultados obtenidos.

En el capítulo V se explican las conclusiones que se pueden obtener gracias a este proyecto, se realiza un repaso del trabajo realizado y se exponen los principales resultados obtenidos.

El capítulo VI incluye la bibliografía consultada para realizar este trabajo.

En el capítulo VII se encuentran los elementos adicionales del proyecto.



CAPÍTULO II. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Este capítulo se centra en la descripción detallada del problema que se va a resolver en este proyecto. Se detalla las características del problema, cómo surge este problema y se realiza una descripción del AAD que se va a estudiar (que tamaño tiene, su estructura...). También se realiza una introducción al proceso que más adelante se analiza.

1. Descripción del Problema

El presupuesto destinado a la compra de medicamentos representa entre un 20-35% del presupuesto total de un hospital público (Jurado, et al., 2015), por lo que es importante gestionar estas existencias del mejor modo posible. Durante años se ha estado estudiando cómo mejorar el sistema de abastecimiento de medicamentos. Primero, surgieron las unidades monodosis como medio de dispensación de medicamentos, reduciendo los errores tanto en la administración de los fármacos como en la preparación de éstos. El problema era que la medicación estaba disponible en una franja muy pequeña de tiempo. Este sistema fue evolucionando con la implantación de sistemas menos complejos, menos exigentes y que utilizaban menos recursos humanos. Después de 40 años evolucionando este sistema, hoy en día se ha implantado en un gran número de hospitales un sistema de distribución de medicamentos para satisfacer las necesidades del paciente durante 24h. En Estados Unidos el 90%



de los hospitales cuenta con este sistema, y en España más del 50% (Hernández & Poveda, 2001).

Uno de los sistemas más eficientes de suministro de medicamentos es por medio de los AAD, que ya está siendo muy común en los Hospitales más importantes de este país. Se han realizado varios estudios que hacen referencia a la eficiencia y las ventajas que suponen este método, haciendo que la importante inversión económica que se debe realizar se vea compensada. Esta inversión está amortizada en 4,4 años (Monzón Moreno, Merino Bohórquez, & Villalba Moreno, 2015) gracias a que se reduce el número de medicamentos consumidos en la planta. Con este sistema también nos encontramos algunos inconvenientes como el rechazo y desconfianza por parte del personal del equipo de Salud o que requiere un buen nivel técnico en los departamentos de sistemas de la información (Hernández & Poveda, 2001). El Hospital Universitario Virgen del Rocío ha comenzado a instalar estos AAD para llevar un control más exhaustivo del gasto en el departamento de farmacia y del inventario de fármacos renovando el antiguo sistema de reparto de fármacos. La UGC de Medicina Interna (UCAMI) se ha visto beneficiada por esta inversión, y ya cuenta con AAD en sus localizaciones dentro del Hospital General del Hospital Universitario Virgen del Rocío. Este trabajo se centrará en uno de sus armarios, concretamente en el que está instalado en el primer control de la planta 2º Norte.

Este nuevo modelo, debido a su reciente instalación, carece de un sistema de gestión de inventario que indique a los profesionales la cantidad óptima de unidades que es preciso que estén presentes en el armario para hacer frente a la demanda requerida por los pacientes de la Unidad. La logística de gestión de inventario es un campo muy amplio, por lo que nosotros nos centraremos sólo en la organización del stock de los AAD.

Este problema tiene una demanda no continua ya que cada paciente tiene un tratamiento diferente, con diferentes dosis y distintos medicamentos, por lo tanto, un fármaco puede estar muy solicitado un periodo de tiempo y en



cambio en otro periodo su demanda es menor. Para estas situaciones bajo condiciones de incertidumbre es vital una buena política de inventario para que este sistema tenga éxito. Para que estas oscilaciones en la demanda no afecten a la calidad del servicio es conveniente calcular un stock de seguridad. Este stock evitara una rotura ya que esto puede ser fatal para el paciente y tener consecuencias graves en su salud. Es menor el gasto que supone tener más inventario que el de no poder suministrar un fármaco por falta de existencias.

Un aspecto muy importante en un hospital es el nivel de servicio que se quiera dar. En este proceso el nivel de servicio se mide por los medicamentos que no se han podido suministrar debido a la falta de existencias. Sin embargo, es necesario encontrar un equilibrio entre un buen nivel de servicio, el gasto y el espacio que incurre un nivel de inventario mayor. Al ser este proceso un aspecto importante para la imagen del hospital, y en definitiva para el servicio que quiere dar, el nivel de servicio tiene que ser un valor lo suficientemente alto como para que no ocurran situaciones indeseables por falta de existencias.

Uno de los problemas adicionales que se presentan tiene que ver con que espacio limitado del que dispone el AAD. En la UGC de Medicina Interna tiene una gran variedad de medicamentos diferentes debido a que es una Unidad que trata pacientes pluripatológicos y crónicos. Es por ello que esta Unidad requiere un stock más ajustado para que haya más espacio e introducir más medicamentos. Con este sistema de distribución tenemos el siguiente escenario:

- Los pacientes pueden necesitar medicamentos disponibles en los armarios, de manera que el médico prescribe y el enfermero saca el medicamento del AAD para administrárselo al paciente cuando corresponda. Estos medicamentos configurados en los armarios tienen 2 tipos de reposiciones:
 - La reposición oficial configurada en el sistema: en función del armario, pueden ser 2-3 días semanales, se lanza un pedido de reposición automática de aquellos medicamentos que están por debajo del stock mínimo.



- Medicamentos agotados: los días que no toca reponer, se sacan listados con los medicamentos que se han quedado a stock cero en el armario y se reponen hasta stock máximo.
- Los pacientes por otra parte pueden necesitar medicamentos “No disponibles”, son medicamentos que no están disponibles en el armario, normalmente porque el consumo del medicamento en cuestión sea tan excepcional que configurarlo en el armario supone que termine caducando y/o termine limitando el poder configurar otros medicamentos más necesarios. Diariamente se sacan listados de medicamentos “no disponibles” y se les envían, mediante preparación manual, a las diferentes plantas.

La capacidad del armario está distribuida de la siguiente manera: un armario base con 30 cajones y 9 cajoneras y un armario auxiliar más alto, con almacenamiento en gavetas, para los grandes fármacos de mayor tamaño y/o mayor consumo, con 8 alturas. En la Figura 1 y 2 se muestra el aspecto real. En la Figura 3 y 4 se muestra cómo son los cajones y las cajoneras.





Figura 1 Armario principal [fuente: Elaboración propia]



Figura 2 Armario auxiliar [fuente: Oferta técnica del armario (Algoritmo, Procesos y Diseños S.A., 2014)]





Figura 3 Cajonera del armario principal [fuente: Oferta técnica del AAD (Algoritmo, Procesos y Diseños S.A., 2014)]



Figura 4 Cajón del AAD principal [fuente: Oferta técnica del armario(Algoritmo, Procesos y Diseños S.A., 2014)]



Este ejercicio tiene unas características muy bien definidas. Cuenta con un tiempo de reposicionamiento (L) constante, pudiendo ser de dos o de tres días, dependiendo si es un día entre semana o es viernes (el inventario del viernes debe de hacer frente a la demanda del fin de semana). También debe de haber una cantidad calculada para hacer frente a la demanda no esperada (stock de seguridad). La cantidad que se pide no siempre es la misma, ya que depende de las unidades que haya en el armario, es decir, no siempre se va a pedir una cantidad Q , sino que se va a pedir una cantidad hasta llegar al nivel de inventario óptimo.

Otro aspecto que vamos a tratar es el alcance de estas mejoras. Se quiere modelar el proceso completo de distribución de los fármacos, desde que el proceso comienza en el almacén general hasta que se administra a los pacientes. Esto nos hará saber que partes están implicadas y conocer las actividades y actores presentes en el modelo. De esta forma el Hospital conoce mejor el proceso y puede mejorarlo en un futuro e identificar posibles problemas que puedan surgir y tener un protocolo para solventarlos. También se estudiará la trazabilidad del medicamento, desde que sale del almacén general hasta que es administrado al paciente, conociendo mejor el proceso y los pasos que sigue hasta que se complete el proceso.

Por lo tanto, el problema queda definido por la demanda en los periodos anteriores, el nivel de servicio que se quiere dar a los pacientes, el tiempo que transcurre entre una reposición y la siguiente y la cantidad de unidades de un medicamento que hay que introducir en el armario hasta llegar al nivel de inventario óptimo.

2. Resumen de la descripción del problema



Este problema tiene una componente de comprensión y análisis de proceso, así como de determinación del nivel de inventario adecuados basados en un pronóstico de la demanda. Para el primero se emplearán técnicas de BPM, y se estudiarán los límites del proceso, es decir, hasta donde se podrán aplicar las mejoras que se obtengan gracias a este proyecto, y para lo segundo se tendrán en cuenta las distintas características del problema, como el nivel de servicio que se quiere dar o el tiempo de reposición. Para el cálculo del pronóstico de la demanda se hará uso de la información encontrada en la bibliografía, y a partir de ella se escogerá la mejor herramienta que se ajuste a las necesidades del problema que se contarán en el capítulo siguiente.



CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Se va a realizar una descripción de cada una de las metodologías que se van a aplicar para resolver el problema. En primer lugar, se describirá la metodología que se utilizará para la comprensión y análisis del proceso y su trazabilidad. Y en segundo lugar se estudiarán las diferentes herramientas que se dispone para pronosticar la demanda y calcular el nivel de inventario adecuado, analizando sus limitaciones y sus características. Por último, se describirá de forma mas detallada las metodologías seleccionadas para cada uno de los aspectos del problema.

1. Gestión de Procesos de Negocios

Hay un gran abanico de herramientas que están enfocadas a la resolución del problema descrito en el capítulo II. Comencemos con las metodologías que hacen referencia a modelar el proceso de abastecer de medicamentos a los AAD. Desde hace unos años se han estado realizando estudios e investigaciones relacionados con la gestión de estos procesos. Con esto se busca mejorar la calidad de los procesos ofreciendo al cliente el mejor servicio posible. Gracias a estos estudios se han desarrollado unas técnicas que se comentarán a continuación para poder visualizar mejor los procesos y poder aplicar la reingeniería en ellos y realizar una mejora continua.



Para conocer todos los detalles del proceso y comenzar a definir todas sus actividades se han realizado entrevistas al personal responsable de este proceso en el hospital. En el Hospital Universitario Virgen del Rocío una de las responsables de este servicio es Elena Prado Mel, integrante de la UGC de Farmacia del hospital. Ella es la persona que facilita los datos y toda la información necesaria para llevar a cabo este proyecto. Gracias a esta información se puede tener una visión general del proceso, identificar los recursos y actores involucrados, definir las tareas y eventos y elaborar la trazabilidad de los productos.

Para modelar este proceso hay varias técnicas disponibles. Entre ellas destacan ARIS, una herramienta que ofrece métodos para el análisis de procesos y realizar modelos empresariales, e IDEF3, una metodología para representar de manera estructurada y jerárquica las actividades que conforman un sistema o empresa (Martínez San German, 2005). Aunque estas dos herramientas son muy eficaces y no se oponen a las necesidades del problema, para este proyecto se va a optar por otra metodología conocida como BPMN (Business Process Management Notation), ya que es una técnica estudiada en el Grado de Ingeniería en Organización Industrial de la Universidad de Sevilla en la asignatura de Reingeniería de Procesos, es por ello que ya disponemos de los conocimientos necesarios para hacer uso de ella sin tener que acudir a la literatura (Pérez González, 2018). Es una notación gráfica estandarizada que permite modelar los procesos en un formato de flujo de trabajo. Por medio del software informático Bizagi Modeler (<https://www.bizagi.com/es>) se modelará este proceso con la notación mencionada.

2. Gestión inventarios

En cuanto al cálculo del nivel de inventario se han realizado varios estudios. La selección de la metodología que mejor se ciñe a las necesidades del problema se ha realizado en tres fases:



- Revisar la bibliografía y literatura relacionada con el término de nivel de inventario o problemas relacionados con el que se plantea. También se han buscado investigaciones que tenían el mismo objetivo que este proyecto. La fuente principal de esta información ha sido internet y la base de datos Scopus.
- Con toda la información obtenida en la anterior fase, se han descrito todas las metodologías que se han aplicado para calcular el nivel de inventario, señalando sus características, limitaciones y si se pueden aplicar al problema.
- La tercera fase consiste en seleccionar la metodología que mejor se ajusta a los requisitos.

Los estudios que se han realizado son tanto en el ámbito industrial como en el entorno de servicios, incluyendo el sanitario. A continuación, se describen las distintas metodologías utilizadas para calcular el inventario:

Algoritmos genéticos: Son unos modelos metaheurísticos empleados para la logística hospitalaria. Entre ellos destacan la búsqueda en la vecindad, algoritmos evolutivos y el algoritmo de Greedy. Se caracterizan por explorar la vecindad de una solución para mejorarla y así desplazarse gradualmente hacia una solución mejor. Destacan los estudios de W. Guerrero, T.G. Yeung y C. Guéret. (Aguirre Lasprilla, Ardila Rueda, Figueroa, & Romero Rodriguez, 2015 y Bautista Chinchilla, 2015). Estos algoritmos calculan unas soluciones que son óptimos locales, lo cual no significa que sean la mejor solución al problema.

- Técnicas cuantitativas: Estas técnicas ayudan a tomar decisiones empleando un elemento principal de la investigación de operaciones: el modelo matemático. Aunque la solución del modelo matemático se puede emplear como base para la toma de decisiones, se deben de considerar factores humanos que no son cuantificables. Estos modelos se componen de una función objetivo que hay que maximizar o minimizar, variables de decisión, representan las decisiones asociadas con



incógnitas a resolver y restricciones o condiciones que las variables tienen que satisfacer (Bautista Chinchilla, 2015). Para este proyecto no se dispone de información suficiente de los factores intangibles para considerarlos y tomar la decisión final, por lo que no se puede aplicar esta técnica.

- **Método Heurístico:** Estos modelos hacen referencia a los modelos de inventario Multi-Eslabón. Esta política ha presentado grandes avances en la logística en todo el mundo. Desde De Bodt & Graves (1958) y su posterior modificación de Mitra & Chatterjee (2004) se han ido perfeccionado estos modelos. Están diseñados para gestionar una cadena de suministros, en las que el eslabón primero abastece la demanda del siguiente, y el eslabón 2 distribuye al siguiente, y así sucesivamente. Estos modelos también han sido diseñados para resolverlos combinándolos con algoritmos genéticos o a partir de relajaciones lagrangianas, la cual se utiliza para cadenas de dos eslabones. Varios autores han sido los que han estudiado este método, entre ellos A.J. Clark con H. Scarf (1986), que establecieron políticas óptimas para el problema de inventarios (s,Q) en Hospitales (Varón Gaviria, Barbosa Fontecha, Peña Gil & Fonseca González, y Aguirre Lasprilla, Ardila Rueda, Figueroa, & Romero Rodriguez, 2015).
- **Modelos estocásticos:** Es un sistema no determinista, en la medida que el siguiente periodo de tiempo esta determinado por aspectos predecibles y por elementos aleatorios. Estos modelos se aplican a procesos en el que existe una secuencia la cual cambia según el paso del tiempo. Ya bien, en muchos sistemas probabilistas usan variables aleatorias fijas, en los modelos estocásticos se deben especificar las variables aleatorias para cada instante de tiempo. Se ha implementado también con el modelo multi-Eslabón gracias a los estudios de P. Berling y J. Marklund y con modelos diseñados por W.Q. Zhou, L.Chen y H.M. Ge para política de inventario de dos eslabones (Aguirre Lasprilla, Ardila Rueda, Figueroa, & Romero Rodriguez, 2015).



Tras esta búsqueda de las diferentes metodologías para calcular el nivel de inventario, y estudiar cada una de ellas, valorando sus aspectos positivos y negativos y analizando cual es la más adecuada para resolver este problema, se puede señalar que la metodología más ventajosa es el modelo estocástico. El motivo principal de esta preferencia es lo realista que es este modelo, ya que trabajan con demanda no determinista, se utiliza para grandes series y el estado de un periodo depende en cierta medida de los periodos anteriores, teniendo un seguimiento de la demanda.

Los modelos estocásticos engloban muchas variaciones. Habrá que estudiar si el problema exige una revisión continua o periódica, decidir la cantidad del pedido y en que momento realizar el pedido. Entre todos los modelos estocásticos, destacan los siguientes:

- El modelo de la revisión continua (Q,r) : En este modelo se conoce la distribución de la demanda, el tiempo de entrega es constante y realiza un pedido de Q unidades cuando el nivel de inventario es inferior a r . Cuando no hay existencias para satisfacer la demanda, el pedido no se pierde, sino que se penaliza (backorders). Las variables de este problema son el valor de Q y el valor mínimo del stock r . Dadas estas características del modelo, se puede sostener que esta técnica no se rige por las mismas características que el problema, ya que en el problema se piden tantas unidades como para alcanzar el nivel de inventario establecido. En la Figura 5 se muestra el comportamiento del inventario a través del tiempo con este modelo.



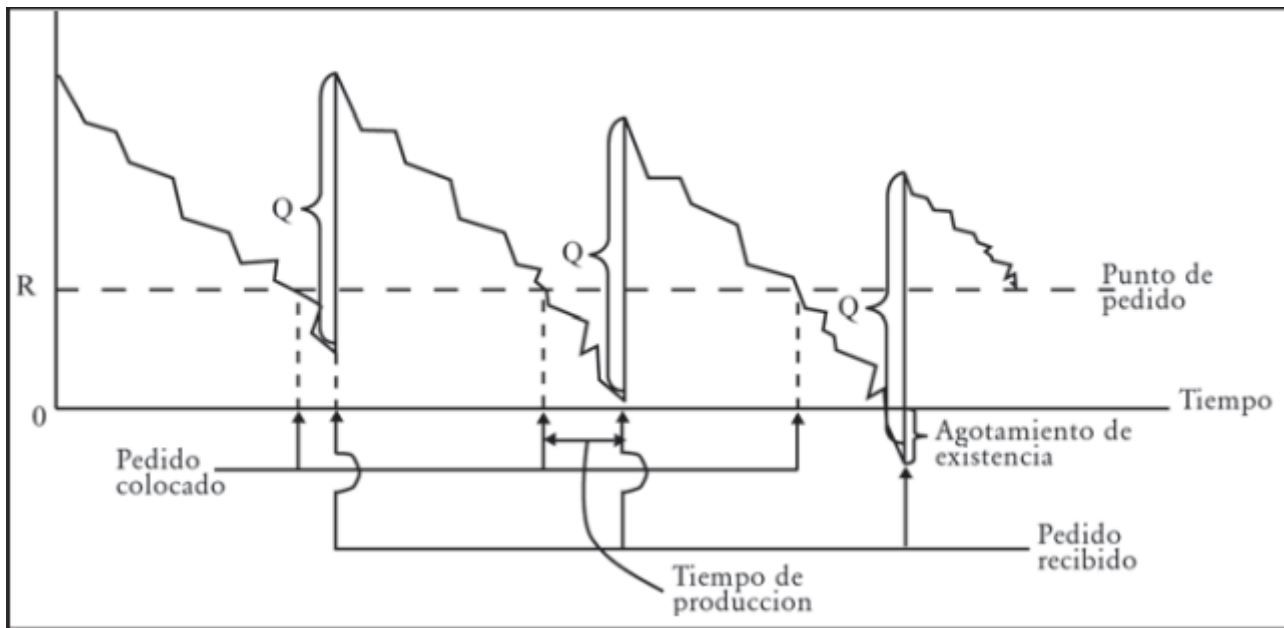


Figura 5 Comportamiento de la demanda con el modelo (Q,r) [fuente: Bonini et al(2001)]

- Modelo (R,T): ésta es una técnica de revisión periódica, con dos variables: T, la cual indica el tiempo que transcurre entre pedido y pedido, y R, que indica el valor máximo del stock, el cual hay que alcanzar en cada reposición. Este modelo no es el apropiado para resolver nuestro ejercicio ya que el armario no hace pedidos de un mismo medicamento cada T periodos, sino que los hace cuando el inventario está por debajo de un valor. En la Figura 6 se muestra el comportamiento del inventario a través del tiempo con este modelo.
- Modelo Newsvendor: este modelo se asemeja a lo que ocurre con un vendedor de periódicos: los periódicos no vendidos en una jornada están obsoletos al final de ésta y por lo tanto hay que desecharlos. Aunque hay que señalar que algunas características de esta técnica coinciden con las particularidades del problema como que el tiempo de entrega es igual a cero, hay otras que no, como la de descartar las unidades del periodo anterior. En el ejercicio presentado, las existencias que no se utilizan en un periodo se almacenan para el siguiente. Es por



ello por lo que este modelo no es el apropiado para resolver este problema.

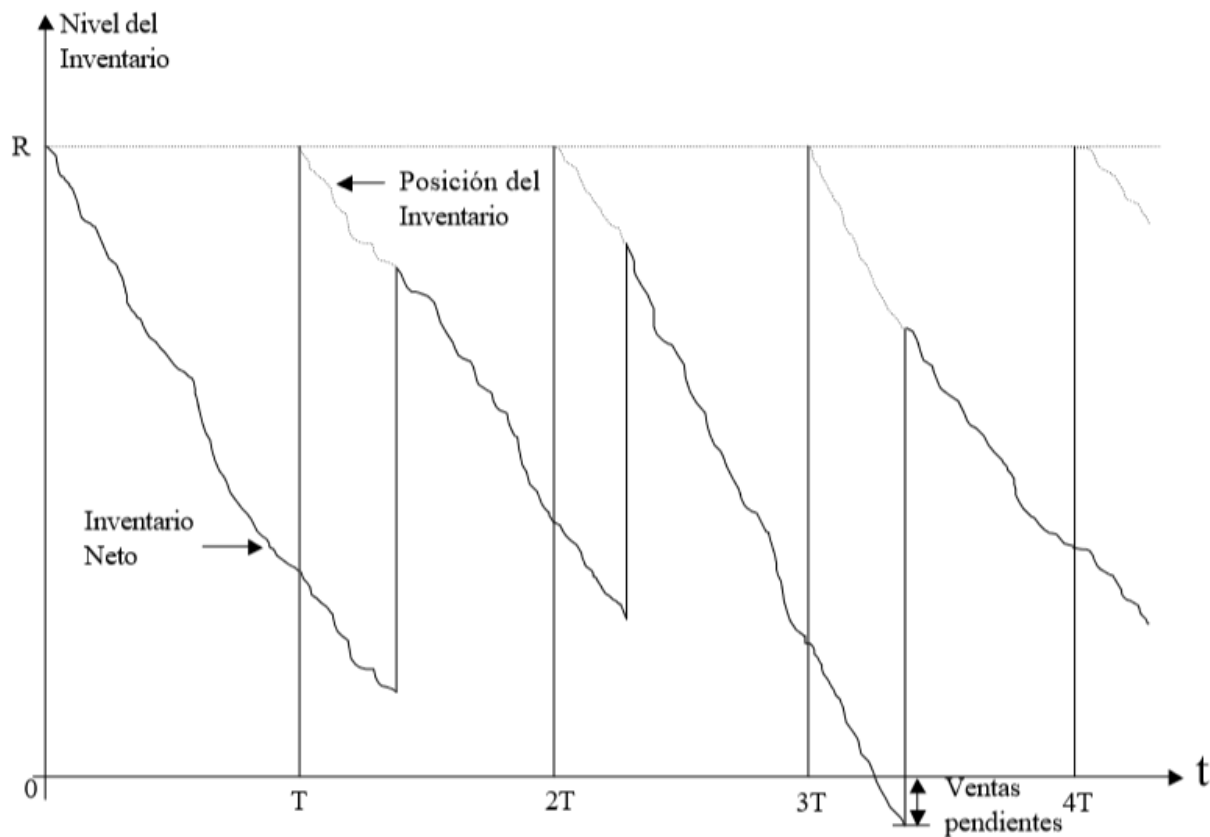


Figura 6 Comportamiento del inventario en el modelo (R,T) [fuente: UDLAP]

- **Modelo Order Up To S:** se trata de un modelo de revisión continua con un tiempo de entrega continua. Se debe conocer la distribución de la demanda para poder aplicar este modelo, siendo las variables de este modelo el valor del stock S y el stock de seguridad s . Esta técnica contempla una demanda incierta, el inventario que no se consume no se queda obsoleto, los periodos en los cuales se hacen los pedidos son del mismo tamaño y el tiempo de entrega es constante. En cuanto la cantidad que se pide es la que permita que el nivel de inventario alcance el nivel máximo establecido. En la Figura 7 se muestra el comportamiento del inventario a través del tiempo para este modelo.



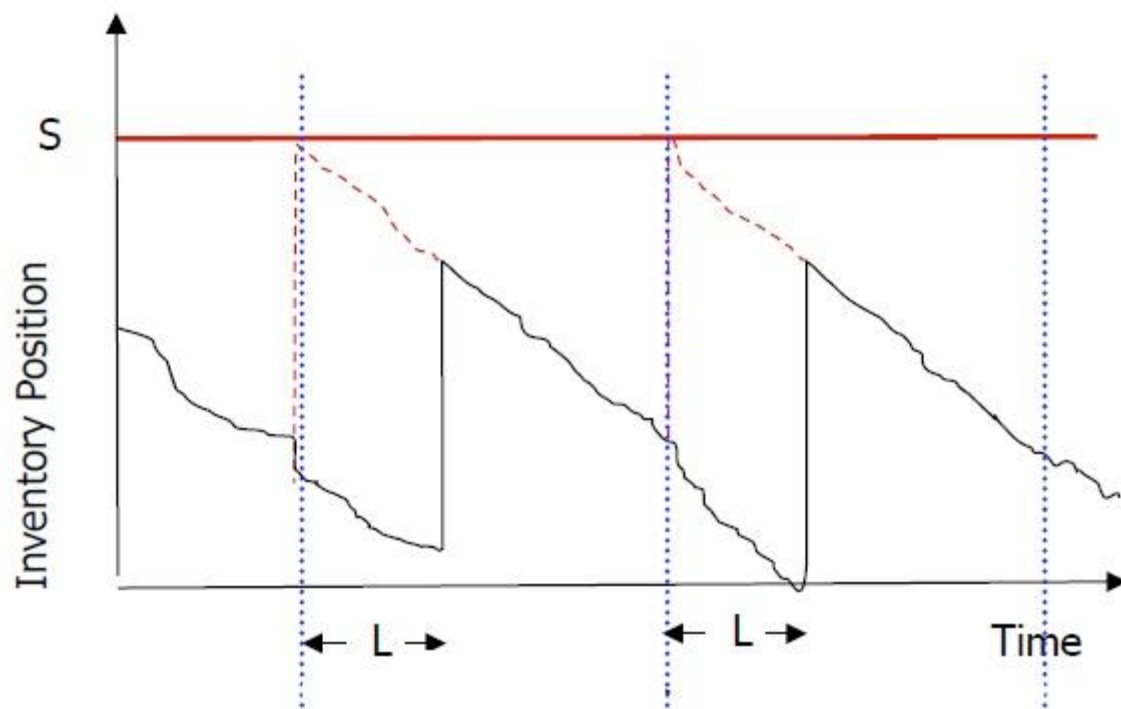


Figura 7 Comportamiento de la demanda con el modelo Order Up To S [fuente: Singhum (2016)]

Una vez estudiados y definidos cada una de las posibles metodologías para el cálculo del inventario y comparando cada modelo con el problema, se puede concluir que la técnica que se ciñe a las características del problema es el modelo Order Up To S, ya que cumple con todas las especificaciones, siendo este un modelo realista que contempla una demanda no determinista y tiene en cuenta el tiempo de reposición. En este modelo tendremos que estimar el parámetro de la demanda, la desviación típica del error previsto y el nivel de servicio.

3. Previsión de la demanda

Pronosticar es la ciencia y arte de predecir eventos futuros. Esta herramienta puede suponer la toma de datos históricos y hacer un pronóstico de una



demanda futura con algún modelo matemático o puede ser un modelo matemático ajustado por un buen juicio y experiencia de un profesional. Entre todos los modelos no hay ninguno que sea mejor que otro, sino que se debe de ceñir las necesidades del problema. Hay que tener en cuenta que los pronósticos no son perfectos y pueden incurrir en errores, pero es necesario realizar estas predicciones (teniendo en cuenta el error) para dar un buen servicio. Hay varios tipos de pronósticos: a largo plazo y a corto plazo. Los primeros son menos precisos que los segundos, siendo los de corto plazo los elegidos para administración en la cadena de suministros. Los pronósticos de la demanda deben actualizarse cada periodo para mantener su integridad y su fiabilidad (Méndez Giraldo & López Santana, 2014).

El primer paso para conocer las distintas metodologías para pronosticar la demanda es la de revisar la literatura existente sobre este tema, y así poder escoger el modelo que mas se ajuste a nuestras necesidades. Existen dos grandes grupos de pronósticos: los cuantitativos, los cuales se basan en datos históricos y/o variables causales para pronosticar; y los cualitativos, que son los que incorporan la experiencia personal y un sistema de valores para alcanzar el pronóstico. En este proyecto se descartan los modelos cualitativos, ya que se desconocen los factores externos que puedan influir en la demanda. En la literatura encontrada se tratan las siguientes técnicas:

- Análisis de series de tiempo (Gil Zavaleta & Rodriguez Collas, 2010). Esta metodología analiza los patrones de la demanda. Estudia si existe una tendencia, estacionalidad o ciclos, y así poder hacer una previsión. Esta metodología es muy útil si se observa que la demanda sigue un patrón, pero en este problema esto no ocurre.
- Media simple: es la mas sencilla de todas. Se trata de sumar todas las demandas de periodos anteriores, y dividirlos entre el número de periodos. No tiene en cuenta el peso relativo que tiene cada demanda pasada, ya que trata a todas igual. Es por ello que sus resultados no son muy fiables ni realistas.



- Pronóstico de la demanda mediante redes neuronales artificiales (Orlando Lao-León, Rivas- Méndez, Caridad Pérez-Pravia, & Marrero-Delgado, 2017): es un modelo matemático inspirado en las redes neuronales biológicas. Este procedimiento cuenta con ocho pasos, en los que hay una fase de análisis, otra de diseño del instrumento para el pronóstico e implementación. Esta técnica obtiene unos buenos resultados, pero por su complejidad y falta de tiempo no se puede hacer posible para este proyecto.
- Media móvil: se trata de la suma de las demandas de m periodos anteriores y dividirlos entre m , siendo m el número de periodos anteriores elegidos. Se va introduciendo una nueva demanda a la vez que sale el dato de la demanda más antigua, es por ello que esta demanda se mueve. Este pronóstico es bueno ya que es válido para previsiones a corto plazo, pero hay que escoger bien el valor de m para que nos de unos resultados buenos.
- Media móvil exponencial: este modelo es una variante del anterior y se caracteriza por darle más importancia a los últimos valores, dándoles diferentes pesos. Con este cálculo se suaviza la curva de la demanda convirtiéndola en una línea o curva.
- Modelo suavización exponencial simple (del Pilar Faune Pinto, 2016): en muchas ocasiones los datos más recientes son los mas indicativos para pronosticar el futuro, que aquellas más lejanas. Es por ello que este método solo hace uso de tres datos: el pronóstico más reciente, la demanda real y una constante de uniformidad. Este modelo no es el mejor para solucionar con éxito nuestro problema, ya que sólo coge el último valor de la demanda real, cuando lo que se necesita es la demanda de los periodos anteriores para que el resultado sea más fiable.
- Modelo de Holt (del Pilar Faune Pinto, 2016): Deriva del modelo anterior, pero éste se ajusta a las tendencias que pronostica, es decir, el modelo de Holt tiene una segunda constante para suavizar la tendencia. Esta



constante reduce el impacto del error entre la realidad y lo pronosticado. También podemos aplicar una variante de este modelo conocido como Modelo de Holt-Winters. Se aplica cuando en la serie se tiene una tendencia y una estacionalidad, por lo que se introduce otra componente mas para determinar el comportamiento de esa estacionalidad.

Una vez expuestos algunos de los posibles modelos para calcular el nivel de inventario, y después de analizar sus características y sus limitaciones, se puede seleccionar el modelo que dé unos resultados satisfactorios y de ese modo tener éxito en la resolución del problema propuesto. El método que atiende a estas necesidades es la media móvil. Este es la mejor metodología ya que da unos resultados realistas (siempre que se escoja un valor óptimo de los parámetros que este modelo requiere), ya que los pronósticos de la demanda deben actualizarse con el fin de mantener su valor e integridad. Esta técnica tiene en cuenta el historial de la demanda, es decir, cada pronóstico no es independiente, y además es un buen modelo para aplicarlo a la previsión a corto plazo.

4. Descripción de la metodología seleccionada

Ya expuestas todas las metodologías posibles y haberlas seleccionado en los tres apartados anteriores, a continuación, se va a proceder a describir de una forma más detallada dichas metodologías. Primero se explican las herramientas que se utilizan para la descripción del proceso, realizar el modelo y la trazabilidad del medicamento, y en segundo lugar se definen las técnicas para calcular el nivel de inventario.



En primer lugar, describiremos la metodología de las entrevistas al personal del hospital para obtener la información y los detalles necesarios. Esta técnica es de recolección de datos, la cual tiene muchas ventajas como la de obtener una probabilidad alta de conseguir respuestas satisfactorias, resolver las posibles dudas que se tengan sobre el proceso, y dependiendo donde se realice la entrevista, se puede entender mejor el proceso al verlo en primera persona. Esta entrevista se ha llevado a cabo en las instalaciones del Hospital, donde Elena Prado Mel enseña los AAD al mismo tiempo que explica el proceso. Una vez que muestra el proceso, se hace un análisis de la información recogida y se realiza un resumen para verificar que el proceso se ha comprendido correctamente.

A continuación, se redacta el proceso y el procedimiento a partir de la información obtenida en las entrevistas. Ya por último modelamos el proceso con la herramienta seleccionada: B.P.M. Utilizaremos la notación conocida como B.P.M.N., la cual nos facilitará la comprensión del proceso en su totalidad de una forma gráfica. Esta notación tiene unos elementos básicos que se muestran en la Figura 8.



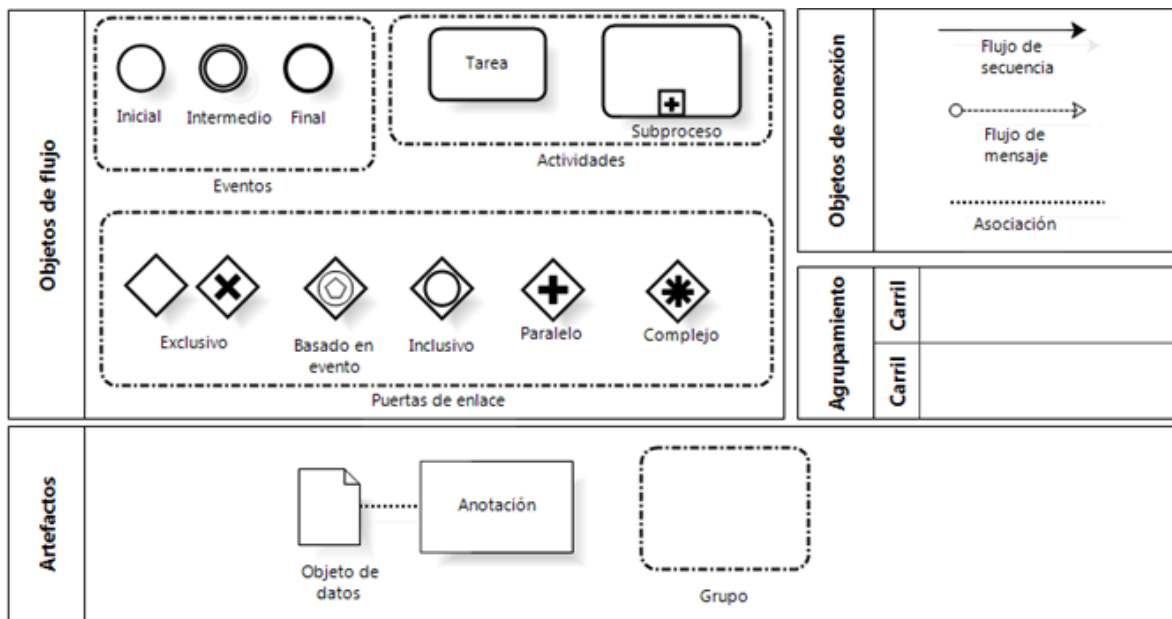


Figura 8 Elementos básicos de B.P.M.N. [fuente: White et al (2008)]

En cuanto a la metodología para calcular el nivel de inventario se ha elegido el modelo Order Up To S. Este modelo se puede explicar según las siguientes definiciones:

- Inventario pedido: el número de unidades pedidas pero que aún no se han recibido.
- Inventario en mano: el número de unidades que están físicamente en el armario preparadas para ser suministradas a los pacientes.
- Backorder: el número total de demandas que no han sido satisfechas.
- Nivel del inventario = inventario en mano – backorder

La cantidad del pedido que realiza este modelo es el número de unidades necesarias para llegar al nivel S establecido. Este nivel S es el máximo permitido.

El modelo Order Up To S calcula a partir de la demanda real de los periodos anteriores, el tiempo de reposición, la desviación típica del error y el nivel de servicio que se quiera dar, la cantidad de inventario de ese medicamento que debe de haber en el armario automático para hacer frente a la demanda en



ese tiempo de reposición. Gracias a los conocimientos adquiridos en el Grado de Ingeniería podemos afirmar que para calcular este valor del nivel de inventario corresponde con la Ecuación 1. También esta ecuación ha sido aplicada para calcular el punto de reorden en el estudio de Aguirre Lasprilla, Ardila Rueda, Figueroa, & Romero Rodríguez, 2015. Y también ha sido empleada por Izar Landeta, Ynzunza Cortés, & Zermeño Pérez, (2015) aunque con otras condiciones y con una variante. Su estudio se centra en que hay una correlación entre el tiempo de entrega y la demanda. Es por ello que utiliza esta ecuación para calcular el punto de reorden con una demanda y un tiempo de entrega promedio.

$$S = L * \hat{\mu} + K * \hat{\sigma} * \sqrt{L}$$

Ecuación 1 Nivel de inventario

Dónde S es igual al nivel óptimo de inventario, L es el tiempo de reposicionamiento, $\hat{\mu}$ corresponde con la previsión de la demanda, K es el nivel de servicio que se quiere dar y $\hat{\sigma}$ concierne a la estimación de la desviación típica del error previsto.

En primer lugar, tendremos que estimar la demanda prevista ($\hat{\mu}$). Para calcular esta estimación, como ya se ha comentado en el capítulo III apartado 3, haremos uso de la media móvil. Se aplica la Ecuación 2, donde d_t es la demanda real del periodo t, y m es el número de periodos que se tienen en cuenta:

$$\hat{\mu}_t = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{i=m} d_{t-i}$$

Ecuación 2 Pronóstico de la demanda de t

Con esta estimación se van tomando los m valores más cercanos al periodo más reciente. El uso de una media móvil tiene sus aspectos positivos y negativos: es una estimación bastante realista ya que se va actualizando con el transcurso



del tiempo. En cada periodo sale un valor para introducir el más reciente, y si el valor que sale es muy grande en comparación con el historial de la demanda, nos puede dar una falsa señal de cambio de tendencia de la demanda. A la hora de darle un valor entero a m se tiene que tener en cuenta que: si es pequeño la estimación de la demanda será más sensible a los cambios y por lo tanto nos mostrará la demanda de un medicamento en un momento, pero no su tendencia; pero en cambio si es muy grande, la media móvil será muy estable y no se notará apenas un cambio en la tendencia de la demanda, es decir, será torpe y lenta pero más impermutable a amagos de cambio de tendencias. Por ello es muy importante escoger un valor que dé unos resultados fiables.

En segundo lugar, por logística del Hospital, sabemos que el valor del tiempo de reposición (L) es de dos días, si se trata de un día entre semana, y de tres días si se trata de hacer frente a la demanda del fin de semana. Este tiempo es el que transcurre entre pedido y pedido. Estos valores pueden variar o bien si se llega a una solución óptima con otros valores o por temas internos del Hospital (reducción de personal, descenso de la demanda en esa planta...).

El valor de la estimación de la desviación típica del error previsto viene dado por la Ecuación 3, donde m corresponde que el mismo valor que el de la media móvil, el error e_{t-i} se calcula por medio de la Ecuación 4 y $\hat{\mu}_{e,t}$ se obtiene a partir de la Ecuación 5:

$$\hat{\sigma}_{e,t} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (e_{t-i} - \hat{\mu}_{e,t})^2}$$

Ecuación 3 Desviación típica del error previsto

$$e_t = \hat{\mu}_t - d_t$$

Ecuación 4 Error entre el pronóstico y la demanda real



$$\hat{\mu}_{e,t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m e_{t-i}$$

Ecuación 5 Sumatorio del error de m periodos

Siendo N el número de pedidos que se realizan en un periodo. El e_t es error que se incurre al pronosticar la demanda. Con este error se calcula $\hat{\mu}_{e,t}$ que es el sumatorio de m periodos del error. Con esto tenemos en cuenta el error cometido en las previsiones y así poder corregirlo.

Por último, hay que calcular el valor de k, representando el nivel de servicio que se quiere dar. Este valor debe de ser alto, para reducir la probabilidad de que la demanda sea mayor que el inventario. Se comprende entre $1.7 \leq k \leq 2.3$. Se mide como la probabilidad de satisfacer la demanda a partir del stock actual para un periodo dado, o bien como el porcentaje de la demanda que se satisface. K es el número de desviaciones estandarizadas de la curva normal que corresponde con un área igual al nivel de servicio (Izar Landeta, Ynzunza Cortés, & Zermeño Pérez, 2015)

Para calcular los niveles de inventario de todos los medicamentos y todos los valores previos haremos uso de la hoja de cálculo Microsoft Excel. Es una potente herramienta gratuita que nos brinda Microsoft y muy intuitiva. En el Grado de Ingeniería de Organización Industrial se ha trabajado con ella y proporciona buenos resultados y gráficos, ya que es fácil de usar y es capaz de interactuar con varios datos a la vez. En las empresas y entidades es muy habitual utilizar esta herramienta para bases de datos. Las ventajas de este software son:

- Introducir datos con rapidez y exactitud.
- Recalcular datos con exactitud.
- Analizar los resultados que dependen de un parámetro.
- Podemos crear gráficos.



Gracias a esta herramienta se puede calcular de una forma sencilla el parámetro que hace referencia al nivel de servicio. En Excel se va a hacer uso de su librería de funciones para programar las ecuaciones mencionadas en este apartado. También se van a utilizar para calcular distintos valores, con el parámetro k del nivel de servicio.



CAPÍTULO IV. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

En el capítulo anterior se han comentado las posibles metodologías que se podían utilizar para solucionar un problema de la índole que se ha presentado. Entre todas ellas se han seleccionado y se han descrito detalladamente las apropiadas para las circunstancias del proyecto, y resolver el problema de la mejor manera posible. En este capítulo se van a aplicar estas metodologías resolviendo los diferentes aspectos del problema, para que finalmente se obtengan unos resultados. Estos resultados se compararán con diferentes escenarios y se indicará cual es el óptimo.

1. Proceso y procedimiento del suministro de medicamentos

4.1. Proceso

Una vez descritas las metodologías que se van a emplear en este estudio, se va a proceder a definir el proceso de abastecer medicamentos a los AAD. Como se ha comentado en el capítulo III apartado 1, se hará uso de la entrevista personal para obtener la información necesaria para modelar el proceso. Para el encuentro con Elena Prado Mel se concretó una hora y un lugar. Hicieron falta dos entrevistas para obtener toda la información. A continuación, se describe el proceso completo.



Para una mejor comprensión del procedimiento, se va a explicar como se organiza el Hospital para suministrar los medicamentos a las diferentes áreas del complejo. El almacén del Hospital General se encarga de dispensar medicamentos a los pacientes y a las consultas de dicho edificio. El proceso que se va a explicar en este proyecto se centra en este almacén. El complejo hospitalario también dispone de una exportadora que suministra fármacos al hospital de Rehabilitación y Traumatología y a los centros sociosanitarios. Y por último hay un almacén el cual provee de medicamentos al Hospital de la Mujer y al Hospital Infantil. En la Figura 9 se muestra esta organización de una forma esquemática.

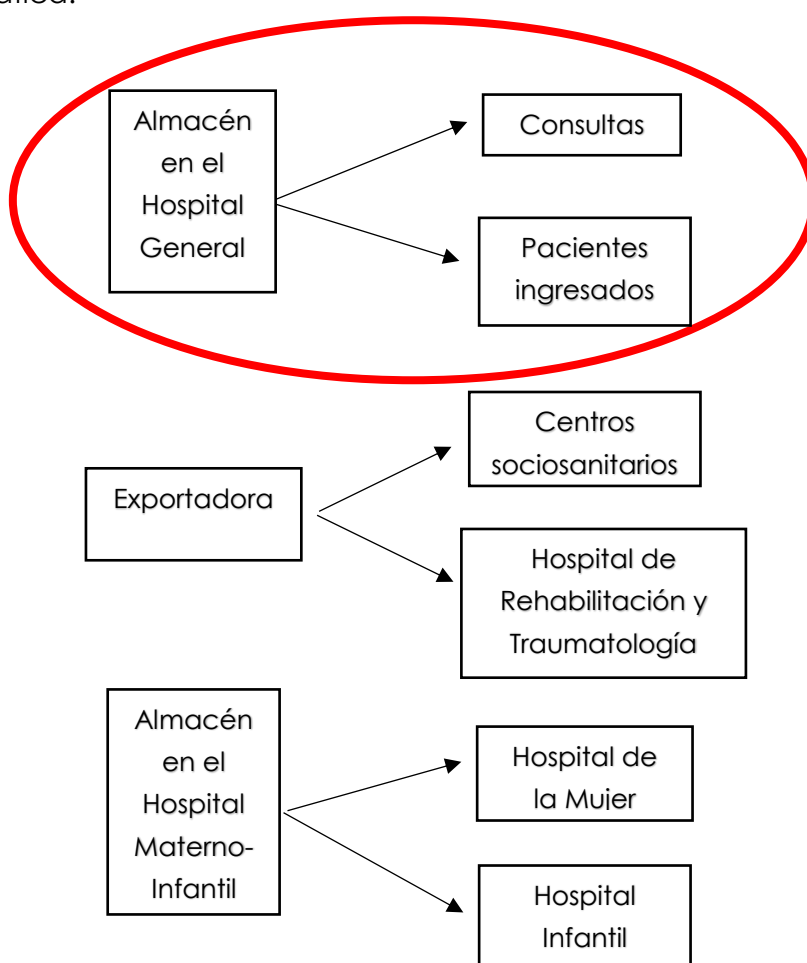


Figura 9 Organización de los almacenes del Hospital Universitario Virgen del Rocío [fuente: elaboración propia]

El almacén del Hospital General se compone, en primer lugar, por un carrusel horizontal y un carrusel para los medicamentos termolábiles donde se



almacenan grandes cantidades de medicamentos procedentes directamente de los laboratorios. En este carrusel horizontal los medicamentos se pueden encontrar en forma de unidades o en el envase original del laboratorio. Estos carruseles son los encargados de suministrar medicamentos a los carruseles verticales, los cuales son unos almacenes satélites donde hay una menor cantidad de medicamentos para un acceso mas rápido a estos. En el paso de los medicamentos del carrusel horizontal al carrusel vertical, éstos pueden ser reenvasados a unidades, de este modo todos los medicamentos que encontramos en el carrusel vertical están en forma de unidades. En la Figura 10 se muestra de una forma esquemática la relación entre los carruseles.

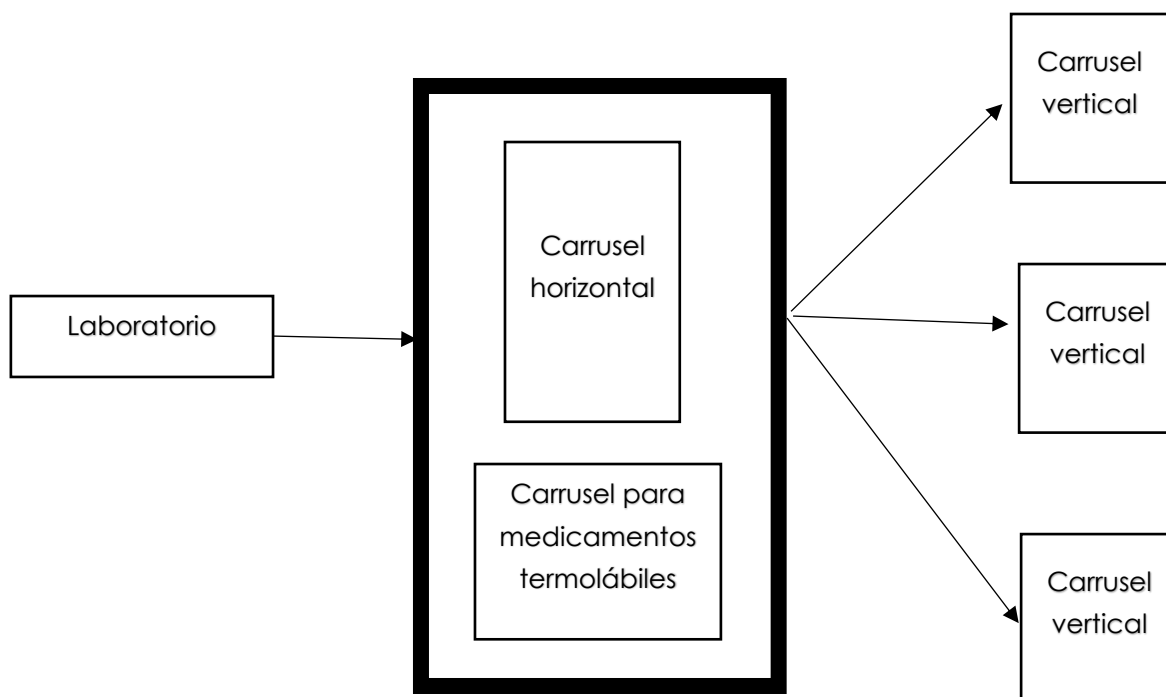


Figura 10 Relación de los carruseles [fuente: elaboración propia]

El proceso comienza en el almacén general del Hospital. Éste se encuentra en la planta baja del Hospital General. Los fármacos están almacenados en grandes cantidades en el carrusel horizontal. Este carrusel recibe los medicamentos de los laboratorios y los almacena. El abastecimiento de medicamentos al hospital se realiza por compra directa a los laboratorios. Estos pedidos una vez recepcionados tienen que ser introducidos en el carrusel



horizontal. Estos carruseles horizontales suministran los medicamentos a los carruseles verticales, que son unos equipos rotativos de almacenamiento dinámico los cuales aportan una eficiente solución para el almacén de los fármacos, con fácil acceso a éstos. Los carruseles verticales se gestionan a través de un software que le permite dimensionarlo (configurar medicamentos, los tamaños, volúmenes...) y adaptarlo a las necesidades del servicio. Por otra parte, este software está conectado al programa de gestión del servicio de farmacia desde donde recibe órdenes de pedidos de las diferentes áreas clínicas del hospital. En el carrusel vertical el medicamento ya se encuentra en el formato de dosis unitaria, donde se indica un código de barras identificativo, el nombre del medicamento, número de lote y su fecha de caducidad. Estos carruseles verticales solicitan un pedido de reposición automática al carrusel horizontal cuando el nivel de stock de algún medicamento está por debajo del mínimo establecido. Estos equipos están dotados de una pantalla táctil donde aparece toda la información a tiempo real del inventario de cada AAD, los medicamentos que son necesarios reponer y las cantidades del pedido. Es por todo esto que este proceso requiere un engranaje perfectamente sincronizado para que fluya correctamente el proceso de suministro de medicamentos.

A continuación, los trabajadores se sitúan delante del carrusel vertical y abastecen de medicamentos a unos carros, o también llamados piramidales, que van destinados a un AAD en concreto. Cada AAD tiene unos días de reposición asignados. En estas jornadas de reposición, se provee de medicamentos a ese AAD y también se verifican los medicamentos "no disponibles". La definición de este tipo de medicamentos se encuentra en el capítulo II apartado 1. Si se considera que no son suficientes se pueden aumentar los días de reposición, aunque no es habitual. El resto de las jornadas que no se aprovisiona a ese AAD, se debe revisar su estado, es decir, verificar si hay algún medicamento "no disponible" o "agotado" en su stock para realizar un pedido y abastecerlo. El concepto de medicamento "agotado" se describe en el capítulo II apartado 1. Una vez que la piramidal esté completa con los medicamentos necesarios, un operario del hospital lo traslada a la planta



correspondiente. A continuación, ese operario introduce todos medicamentos excepto los medicamentos "no disponibles", ya que un enfermero/a los suministrará al paciente directamente, sin almacenarlos en el AAD. Por último, él transporta la piramidal al almacén general para liberarlo y puedan ser utilizados de nuevo.

Los medicamentos que se encuentran en el stock del AAD no se sustraen hasta que haya que suministrarlo a algún paciente o su fecha de caducidad se haya visto sobrepasada. En cualquier caso, será el personal autorizado (que son los enfermeros/as de esa planta) los que tengan acceso a estos medicamentos, ya que el software del AAD cuenta con un lector de huellas para identificar al personal que está manipulando los medicamentos. El enfermero/a retirará el fármaco registrando la cantidad sustraída en el software del AAD y por último se lo administrará al paciente. En este momento habrá terminado el proceso de suministro del medicamento al paciente.

4.2. Procedimiento

En este proceso podemos distinguir dos procedimientos:

- Las jornadas en las que se ha asignado la reposición del armario.
- Las jornadas en las que solo hay que verificar el estado del armario.

Comencemos con el primer procedimiento:

- 1) El profesional coge la piramidal que no esté en uso y coloca un cartel donde se indica su dispensador destino.
- 2) El profesional comienza a colocar en la piramidal los medicamentos que le indica la pantalla y las cantidades necesarias en la piramidal.



- 3) Cuando el profesional ha terminado de introducir todos los medicamentos, aparta la piramidal a una cola para que un segundo profesional transporte esa piramidal a su destino.
- 4) Un segundo profesional traslada esa piramidal hasta el AAD correspondiente.
- 5) El segundo profesional comienza a introducir los medicamentos en los lugares correspondientes, excepto los medicamentos "no disponibles", indicando la cantidad introducida y su fecha de caducidad.
- 6) Cuando se termina de introducir todos los medicamentos, el segundo profesional lleva la piramidal al almacén para liberarlo.
- 7) El profesional autorizado suministra los medicamentos "no disponibles" a los pacientes.
- 8) En el momento que se cree la necesidad de utilizar un medicamento o el medicamento no se encuentre en las condiciones óptimas, el profesional autorizado retirará el fármaco del AAD. Cogerá tantas monodosis como sea necesario, pero siempre tendrá que dejarlo registrado en el software del AAD.
- 9) En caso de que haya sido extraído para suministrarlo en un paciente, el profesional administrará el medicamento al paciente.
- 10) En caso contrario, si se ha extraído por su mal estado, el profesional lo retirará y lo desechará.

En cuanto al segundo procedimiento:

- 1) Un profesional verifica el estado de los niveles de stock de los AAD que no les toca reposición esa jornada.
- 2) En caso de que haya algún medicamento "no disponible" o algún medicamento "agotado", un profesional coge una piramidal e introduce



los medicamentos necesarios. En caso contrario este procedimiento termina.

- 3) Una vez que el profesional termina de introducir los fármacos, traslada la piramidal hasta la cola.
- 4) Un segundo profesional transporta la piramidal hasta la localización del AAD.
- 5) El segundo profesional introduce los medicamentos en el AAD, excepto los medicamentos "no disponibles", indicando en el software la cantidad introducida y la fecha de caducidad.
- 6) El segundo profesional, cuando termina esta tarea, transporta la piramidal hasta el almacén, liberándolo para que vuelva a utilizarse.
- 7) El profesional autorizado suministra los medicamentos "no disponibles" al paciente.
- 8) En el momento que se cree la necesidad de utilizar un medicamento o el medicamento no se encuentre en las condiciones óptimas, el profesional autorizado retirará el fármaco del AAD. Cogará tantas monodosis como sea necesario, pero siempre tendrá que dejarlo registrado en el software del AAD.
- 9) En caso de que haya sido extraído para suministrarlo en un paciente, el profesional administrará el medicamento al paciente.
- 10) En caso contrario, si se ha extraído porque su mal estado, el profesional lo retirará y lo desechará.

Una vez definido el proceso con todos los detalles, donde se ha indicado las tareas, eventos y actores que participan en el proceso, se puede modelar el proceso con la notación B.P.M.N. y así mostrar el proceso de una forma mas visual, mejorando su comprensión. Como ya se ha señalado, haremos uso del software Bizagi Modeler.



4.3. Modelado

Al tener dos procedimientos, se tiene que realizar dos modelos que corresponden con la Figura 16 para el procedimiento en el que se reponen las existencias del AAD y la Figura 17 para el procedimiento que se verifica el estado del dispensador. Estas Figuras se encuentran en el apartado de Elementos adicionales.

Una vez se ha realizado el modelado de los procesos podemos analizar las actividades, encontrar los posibles problemas que puedan surgir y pensar en soluciones.

Uno de los problemas que se produce en este proceso ocurre cuando el profesional autorizado no puede retirar el medicamento del AAD porque el software de éste se encuentra fuera de servicio. Esto es un problema ya que, si el software no se encuentra disponible, no se pueden abrir los cajones ni las puertas del AAD, por lo que no se puede acceder a los medicamentos. Este problema se soluciona llamando al técnico para que se traslade hasta la planta donde se localiza este dispensador y solucione el problema. Otra solución sería formar a los enfermeros/as para que puedan solucionar los problemas mas comunes que puedan ocurrir al sistema, o que el encargado de la planta tenga una llave para poder abrir el armario manualmente.

4.4. Trazabilidad

En este apartado se va a estudiar la trazabilidad del medicamento. Es una herramienta eficaz para garantizar un servicio de calidad y proporcionar



seguridad al paciente. Se consigue detectar aquellas anomalías que puedan presentarse en el tránsito del medicamento desde su origen hasta que se administra. A continuación, se describe el recorrido del medicamento dentro del hospital, es decir, desde que llega al almacén general hasta que se le administra al paciente.

El medicamento llega desde el laboratorio hasta el almacén general, en concreto al carrusel horizontal. Desde ahí se hacen todos los pedidos de los medicamentos para después pasarlos a los carruseles verticales. Un profesional introduce los fármacos del carrusel vertical al piramidal. Éste es transportado hasta las diferentes plantas del hospital abasteciendo a los AAD de estos medicamentos. Por último, el enfermero/a sustrae el fármaco del AAD para suministrarlo finalmente al paciente. En la Figura 11 se muestra de una forma gráfica la trazabilidad.

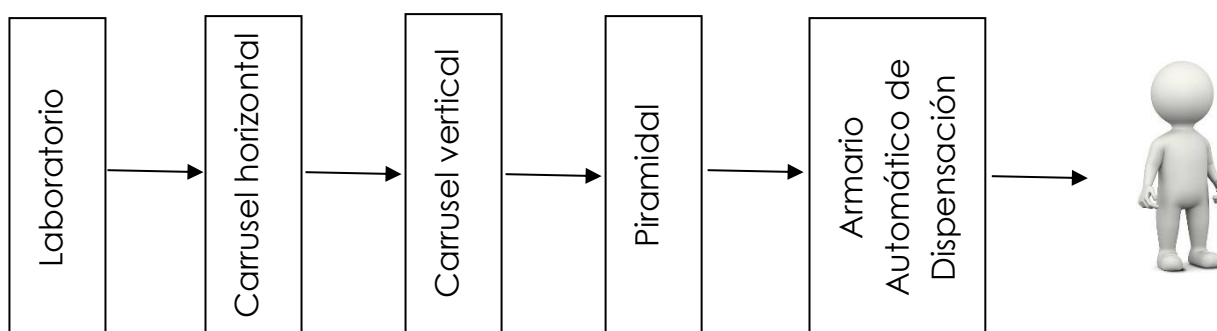


Figura 11 Trazabilidad del medicamento [Fuente: elaboración propia]

2. Cálculo del nivel de inventario

La literatura consultada para realizar este proyecto señala que un problema muy común que tiene este proceso de distribución es el de tener unos niveles de inventario altos y con ello unos mayores costes totales. Como consecuencia



no se optimiza correctamente el espacio del que se dispone, haciendo que la calidad del servicio no sea tan buena como podría llegar a ser. Para que esto no ocurra se va a calcular el nivel de inventario óptimo para cada periodo.

Como ya se ha señalado en el capítulo III apartado 2 y capítulo III apartado 3, haremos uso de un modelo estocástico, concretamente el modelo Order Up To S, y para pronosticar la demanda se hará uso de la media móvil. Antes de aplicar esta metodología a nuestro problema se van a señalar las hipótesis, supuestos y las decisiones que debemos tomar para resolver el ejercicio. Estas decisiones afectarán directamente al resultado final.

- El primer supuesto que se hace es que siempre hay medicamentos disponibles en el almacén general. En el almacén general no puede haber una rotura de stock, al contrario que pasa en el AAD, que si puede haber una rotura.
- Una solución para la falta de espacio encontrada en varios artículos de la bibliografía es la de clasificar los medicamentos según su criticidad o su uso. La técnica más utilizada es la clasificación ABC. Esta técnica asigna una clase A a los medicamentos que representan un 70% del valor del inventario y el 20% de los elementos del inventario. Una clase B a los que representan al 30% de los elementos y tienen un 20% del valor del inventario y por ultimo la clase C que representa el 50% del inventario y un 10% del valor del inventario. (Harwinder Singh y Sukhjeet Singh, 2015). Esta técnica se puede combinar con otras como puede ser ABC-VED (Kritchanchai y Meesamut, 2015). Todas estas herramientas buscan clasificar los medicamentos, pero en este proyecto se van a tratar todos los medicamentos con la misma criticidad, ya que ninguno de los fármacos introducidos en el armario tiene sustituto inmediato.
- En este proyecto no se va a tener en cuenta los costes que están asociados a la compra y distribución de los medicamentos, ya que carecemos de esa información. Gracias a la bibliografía se puede afirmar



que estas mejoras en la logística hospitalaria reducen los costes totales y las cantidades de medicamentos que la Unidad de farmacia compra.

- El punto mínimo de stock que se va a permitir va a ser el 80% del nivel de inventario calculado, es decir, en el momento que el stock de un medicamento esté por debajo de ese nivel, el armario hará un pedido automáticamente. Este porcentaje se ha establecido por experiencia de los profesionales del hospital.
- Se ha establecido que los días de reposición del armario escogido para el estudio sean los lunes, miércoles y viernes. Se han seleccionado estos días porque son las jornadas que en las que se reponía el AAD seleccionado antes de comenzar el proyecto.
- También se ha supuesto que el inventario inicial es igual a 0, por lo que el primer día todos los inventarios están en negativo y hay que realizar una reposición de todos los medicamentos que se han demandado en la primera jornada. Estos valores se estabilizan con el paso del tiempo.
- Se tienen en cuenta los medicamentos “agotados”, es decir, si un sábado el stock de un medicamento es negativo, el domingo se repone, aún siendo este día una jornada de no reposición.
- Una parte importante del problema es saber pronosticar bien la demanda futura. Para ello es necesario decidir el valor de m . Este parámetro hace referencia a los periodos que se tienen en cuenta para calcular la media móvil. Para decidir su valor se comparan los diferentes resultados que se obtienen con distintos valores, y se elige el que mejores resultados proporcione.
- También se tiene que decidir el nivel de servicio se quiere dar. Como se ha comentado, para prestar un servicio de calidad este nivel debería ser del 99%, pero para presentar un mayor número de medicamentos distintos quizás conviene tener un nivel de servicio menor, aun siendo satisfactorio para el paciente, para tener un mayor espacio en el armario.



Este proyecto comienza con un historial de demandas de 87 días. En esta base de datos tenemos información de la cantidad demandada y del tipo de fármaco demandado del AAD localizado en el Hospital General, 2º Planta norte, ala A1, en la UGC de Medicina Interna (UCAMI). La información se obtuvo del sistema informático del hospital del cual se puede extraer cualquier demanda de cualquier rango de jornadas. Fue necesario consolidar todos los datos en una única hoja de Excel, ya que cada jornada se encontraba en una hoja diferente. En total se cuenta con 393 medicamentos diferentes en la base de datos, con sus demandas correspondientes ordenadas alfabéticamente por jornadas. En la Figura 12 se muestra el aspecto de esta hoja con los primeros medicamentos y las primeras jornadas de la muestra.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M |
|----|-------------|--------|----------|---|-----------------------------------|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | fecha: | | | | | | 14/03/2018 | 15/03/2018 | 16/03/2018 | 17/03/2018 | 18/03/2018 | 19/03/2018 | 20/03/2018 |
| 2 | Medicamento | código | cantidad | | Nombre | codigo | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 3 | | | | | ACENOCUMAROL 4 mg COMP | 101604 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 4 | | | | | ACENOCUMAROL UNO 1 mg COMP | 102148 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 5 | | | | | ACETILCISTEINA 200 mg SOBRE | 100887 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 6 | | | | | ACETILCISTEINA 600 mg SOBRE | 100607 | 2 | 3 | 2 | 0 | 4 | 4 | |
| 7 | | | | | ACETILSAUCILICO ACIDO 100 mg COMP | 102463 | 17 | 15 | 13 | 1 | 18 | 13 | |
| 8 | | | | | ACICLOVIR 200 mg COMP | 100113 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 9 | | | | | ACICLOVIR 800 mg COMP BUCOD | 100213 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 10 | | | | | ALBUMINA 20% 10 g/50 ml INY | 100404 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | |
| 11 | | | | | ALMAGATO 1,5 g SOBRE | 101346 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 12 | | | | | ALOPURINOL 100 mg COMP | 100612 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 13 | | | | | ALOPURINOL 300MG, COMPRIMIDOS | 100111 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 2 | |
| 14 | | | | | ALPRAZOLAM 0,25 mg COMP | 102055 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 15 | | | | | ALPRAZOLAM 0,5 mg COMPRIMIDOS | 101441 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| 16 | | | | | ALPRAZOLAM 1MG, COMPRIMIDOS | 100247 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 17 | | | | | ALPRAZOLAM 2 mg COMP | 100585 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 18 | | | | | AMIODARONA 150 mg/3 ml INY | 101498 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 19 | | | | | AMIODARONA 200 mg COMP | 101040 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 20 | | | | | AMITRIPTILINA 25 mg COMPRIMIDOS | 100181 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 21 | | | | | AMLODIPINO 10MG, COMPRIMIDOS | 101197 | 3 | 2 | 2 | 0 | 3 | 1 | |

Figura 12 Hoja de historial de las demandas [fuente: elaboración propia]

A partir de estas demandas reales se pueden calcular las medias móviles para cada medicamento. Con esto obtendremos el pronóstico de la demanda. Este cálculo se ha realizado en otra hoja Excel, donde se ha escrito en lenguaje del Excel la Ecuación 2 mencionada en el capítulo III apartado 4, haciendo uso de la formula de Excel PROMEDIO, tal que así:

=SI('Mediamóvil'!E\$2>=Parámetros!\$B\$4;PROMEDIO(DESREF('historialde demandas'!I3;0;0;1;-Parámetros!\$B\$4));''')



La función SI indica que, si el parámetro m es menor que el número de la jornada, se podrá calcular la media móvil. En caso contrario la celda estará vacía (""). La función DESREF se utiliza para seleccionar las m celdas anteriores, comenzando por la celda seleccionada. Estas medias serán dependientes del parámetro m. Su valor se decidirá más adelante, ya que también afecta a la hora de calcular la desviación típica del error previsto.

A continuación, se calcula el error que se incurre al realizar el pronóstico de la demanda. Este error se pretende que sea lo más pequeño posible, para que el nivel de inventario se ajuste lo máximo posible a la realidad. Del mismo modo este cálculo se realizará en otra hoja de Excel con la lista de medicamentos completa en la primera columna y el resto de las columnas harán referencia a cada jornada. La Ecuación 4 mencionada en el capítulo III apartado 4 se ha insertado en las celdas de esta hoja con la siguiente expresión:

`=SI.ERROR('Media móvil'!L5-'historial de demandas'!P4;0)`

La función SI.ERROR sirve para poner un 0 en cada celda donde no se puede calcular el error.

Para calcular la estimación de la desviación típica del error previsto debemos calcular antes un valor, que es el sumatorio del error de los m periodos anteriores. Este cálculo hace referencia a la Ecuación 5 mencionada en el capítulo III apartado 4. Se usarán las mismas funciones que se han utilizado para calcular la media móvil, pero en vez de utilizar la función PROMEDIO, utilizaremos la función SUMA. En el software esta ecuación se escribe del siguiente modo:

`=SI(L$2>=Parámetros!$B$4;SUMA(DESREF(error!L3;0;0;1;-Parámetros!B4));0)`

En este punto ya se puede proceder a calcular la estimación de la desviación típica. Su expresión corresponde con la Ecuación 3 mencionada en el capítulo III apartado 4. Para calcular este valor en Excel haremos uso de las siguientes funciones:



=SI(F\$2>=Parámetros!\$B\$4;RAIZ((1/(Parámetros!\$B\$4-1))*SUMAPRODUCTO
DESREF (error!F3;0;0;-1;-Parámetros!\$B\$4) - 'desviacion del error'!F3)^2));"")

Utilizamos la función SI por la misma razón que se ha expuesto antes. La función SUMAPRODUCTO hace que se sume la diferencia de los dos valores al cuadrado. Y por último la función DESREF, como se ha comentado, es para hacer referencia a los m periodos anteriores al seleccionado.

Con todos estos valores se puede proceder a calcular el nivel de inventario óptimo que corresponde con la Ecuación 1 del capítulo III apartado 4. Para escribir esta ecuación en el lenguaje de Excel se utiliza la función REDONDEAR.MAS para redondear el valor obtenido a la siguiente unidad y de ese modo hacer frente a la demanda sin problemas. En el software esta ecuación sería así:

=SI.ERROR(REDONDEAR.MAS('Media móvil'!F5*Parámetros!\$B\$5+
Parámetros!\$B\$2*'Estimacion de la desv.'!F4*RAIZ(Parámetros!\$B\$5);0);0)

Este proyecto contará con una hoja para que se introduzcan los valores de los parámetros de m, L y el nivel de servicio que se quiere dar. Éste último valor estará comprendido entre 0 y 1, siendo 1 el mayor nivel de servicio que se pueda dar. En la Figura 13 se muestra el formato de esta hoja.

| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P |
|---|----------|------------|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Variable | Valor | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | k | 2,32634787 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | % | 0,99 | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | m | 10 | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | L1 | 2 | entre semana | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | L2 | 3 | fin de semana | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 13 Hoja de parámetros [fuente: elaboración propia]

Una vez calculados el nivel de inventario óptimo para cada medicamento y jornada se puede generar gráficos para los distintos valores de m, con el fin de ayudarnos a decidir su valor. Para ello se selecciona un medicamento y se compara su demanda real con el nivel de inventario calculado con diferentes valores de m manteniendo constante k. En la Figura 14 se muestran las diferentes gráficas.



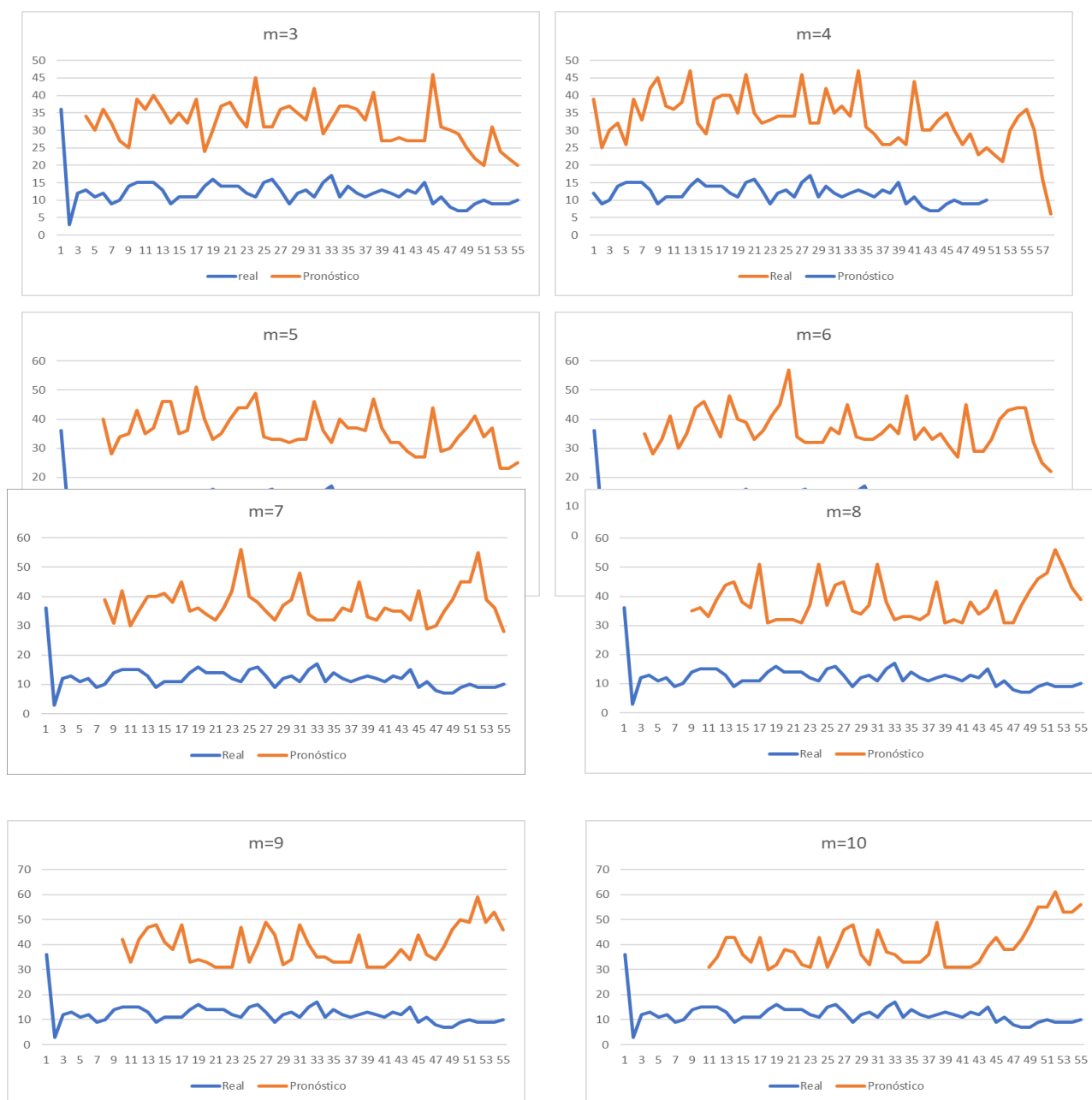


Figura 14 Gráficas comparativas con diferentes valores de m [fuente: elaboración propia]

Estas gráficas se corresponden con el medicamento Enoxaparina 40mg JGA, siendo el color naranja el pronóstico y el azul la demanda real. Como se puede comprobar, se cumplen las afirmaciones mencionadas en el capítulo III, a mayor valor de m más estable es la predicción.



A continuación, se calcula el inventario en mano que está presente en el armario en cada periodo. Este valor dependerá de la demanda real, del inventario en mano del periodo anterior, si dicho valor se sitúa por encima o por debajo del 80% del nivel de inventario calculado en ese periodo y del día de la semana que corresponda ese periodo. Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, obtenemos las siguientes expresiones 1, 2 y 3:

Si $t = \text{"martes"}$ ó $t = \text{"jueves"}$ ó $t = \text{"sábado"}$ ó $t = \text{"domingo"}$ ENTONCES $I_t = I_{t-1} - D_t$

Expresión 1 El valor del inventario en t si es día de reposición

Si $t = \text{"lunes"}$ ó $t = \text{"miércoles"}$ ó $t = \text{"viernes"}$ Y $I_{t-1} \geq S_t * 0,8$ ENTONCES $I_t = I_{t-1} - D_t$

Expresión 2 Valor del inventario en t si es día de reposición y I_{t-1} es mayor que el mínimo

Si $t = \text{"lunes"}$ ó $t = \text{"miércoles"}$ ó $t = \text{"viernes"}$ Y $I_{t-1} < S_t * 0,8$ ENTONCES $I_t = S_t - D_t$

Expresión 3 Valor del inventario en t si es día de reposición y I_{t-1} es menor que el mínimo

Con estas ecuaciones se indica que si el inventario en mano del periodo anterior $t-1$ es menor que el nivel de inventario mínimo y en esa jornada se ha programado abastecer este armario, entonces el inventario en mano al terminar el periodo t es igual al nivel de inventario óptimo menos la demanda real de esa jornada. Y si el inventario en mano del periodo $t-1$ es mayor y es lunes, miércoles o viernes, entonces el armario no recibe unidades de ese medicamento en el periodo t , siendo su inventario en mano al final de esa jornada igual al inventario de $t-1$ menos la demanda real de t . Por el contrario, si nos encontramos en una jornada en la cual no se repone, el inventario al terminar ese día será igual al inventario de $t-1$ menos la demanda real de t . En Excel las expresiones 1, 2 y 3 se programan con las siguientes expresiones:

$=SI(L6 \leq 0; 'Si (stock deseado)'; I6 - 'historial de demandas'!P5; SI(O(M\$1 = "martes"; M\$1 = "jueves"; M\$1 = "sábado"; M\$1 = "domingo")); L6 - 'historial de demandas'!P5; SI(Inventario!L6 < 'Si (stock deseado)'; I6 * 0,8; 'Si (stock$



deseado)'!l6-'historial de demandas'!P5;Inventario!L6-'historial de demandas'!P5)))

Con la primera función SI se comprueba el estado del stock de la jornada anterior, es decir, se comprueba si se trata de un medicamento “agotado” y por ello hay que realizar una reposición en un día que no se debería. Con la segunda SI comprueba que día de la semana corresponde con esa jornada, y dependiendo de este valor, esa celda tendrá un valor u otro.

Con estas expresiones se puede deducir que, si el inventario en mano de un periodo t es negativo, significa que se ha producido una rotura de stock. La expresión 4 corresponde con una rotura de stock.

Estas situaciones son las que hay que evitar. Para que se produzcan el menor numero de ocasiones, tenemos que establecer un valor de k (nivel de servicio) alto. Asignando un 99% de nivel de servicio obtenemos un valor $Z(0,99)=2.32635$.

Por último, se tiene que indicar cual es la cantidad de cada medicamento que se debe reponer. Para calcular este valor solo tendremos en cuenta el día de la semana, y la situación del inventario en mano del periodo anterior. Obtenemos las expresiones 4, 5 y 6:

$$I_t < 0 \quad \text{si solo si} \quad D_t > I_{t-1} \quad \text{Ó} \quad D_t > S_t$$

Expresión 4 Rotura de stock de un medicamento

Si $t = \text{"martes"}$ ó $t = \text{"jueves"}$ ó $t = \text{"sábado"}$ ó $t = \text{"domingo"}$ ENTONCES $R_t = 0$

Expresión 5 Valor de la reposición si no es día de reposición

Si $t = \text{"lunes"}$ ó $t = \text{"miércoles"}$ ó $t = \text{"viernes"}$ Y $I_{t-1} \geq S_t * 0,8$ ENTONCES $R_t = 0$

Expresión 6 Valor de la reposición si es día de reposición y I_{t-1} es mayor que el mínimo

Si $t = \text{"lunes"}$ ó $t = \text{"miércoles"}$ ó $t = \text{"viernes"}$ Y $I_{t-1} < S_t * 0,8$ ENTONCES $R_t = S_t - I_{t-1}$

Expresión 7 Valor de la reposición si es día de reposición y I_{t-1} es menor que el mínimo



Siendo R_t la cantidad que hay que reponer en el periodo t . Esta cantidad tiene en cuenta las backorders, es decir, aquellas demandas que se han podido satisfacer en el periodo anterior. Estas expresiones 4, 5 y 6 en el software utilizado se escribirían como:

```
=SI(Inventario!J4<=0;'Si (stock deseado)'!G4-Inventario!J4;SI(O(J$1="martes";J$1="jueves";J$1="sábado";J$1="domingo");0;SI(Inventario!J4<'Si (stock deseado)'!G4*0,8;'Si (stock deseado)'!G4-Inventario!J4;0)))
```

Donde se vuelve a hacer uso de la función SI en dos ocasiones: la primera para verificar si se trata de un medicamento "agotado" y la segunda para definir el día de la semana en el que nos encontramos o si el medicamento está "agotado" y dependiendo de si ese valor es VERDADERO o FALSO será 0 u otro valor.

Todas las hojas de Excel están ordenadas con el mismo patrón, excepto la hoja donde aparecen las demandas reales, la cual tiene un espacio disponible para añadir las demandas reales de las jornadas pasadas. Para introducir nuevos datos de la demanda real, un profesional debe de pegar esos datos en la hoja de "historial de demandas" e incluir la fecha a la que corresponden esos datos. A continuación, debe pulsar Ctrl + k (en Excel se ha creado un macro con esa abreviatura para convertir la fórmula de una celda en su valor, de este modo ese valor no se ve afectado en el momento que se cambie el valor de otras celdas) en la columna que corresponde con esa jornada, para reemplazar la fórmula por el valor. Todas las hojas cuentan con una lista con los nombres de los medicamentos y su código. En la primera fila se encuentra la fecha de los periodos y el día de la semana que corresponde, y el resto de las celdas están los cálculos. Los cálculos se realizan en 9 hojas de Excel:

- Historial de demandas: donde están los datos reales de las demandas.
- Media móvil: se calcula la media móvil para los m periodos anteriores.



- Error: se calcula la diferencia entre la demanda real y la media móvil.
- Desviación del error: se calcula la suma de los errores de los m periodos anteriores.
- Estimación de la desviación: se calcula la estimación de la desviación típica del error previsto.
- Parámetros: en esta hoja se encuentran los valores de los parámetros m , k y L .
- $S_i(\text{stock deseado})$: se calcula el valor del nivel de inventario óptimo.
- Inventario: se calcula el inventario en mano que se tiene en cada periodo.
- Reposición: la cantidad de medicamentos que el operario debe de reponer para que no haya una rotura de stock.

Una vez explicado el modelo que se ha realizado, se pueden modificar los distintos valores de los parámetros y comparar los resultados para determinar sus valores finales. Estos resultados harán referencia al número de roturas de stock producidas en cada periodo. En primer lugar se comparan tres valores para m : uno pequeño, uno grande y otro entre los dos, es decir, $m=3$, $m=6$ y $m=10$. En la Figura 15 se muestra la gráfica con de las roturas de stock según el valor de m escogido.

Como se puede observar, con valores grandes de m los resultados son mejores. Una vez que este valor es mayor de 10, se obtienen unos resultados muy similares. Por lo tanto, podemos concluir que el valor que mejores resultados nos va a dar es $m=10$.



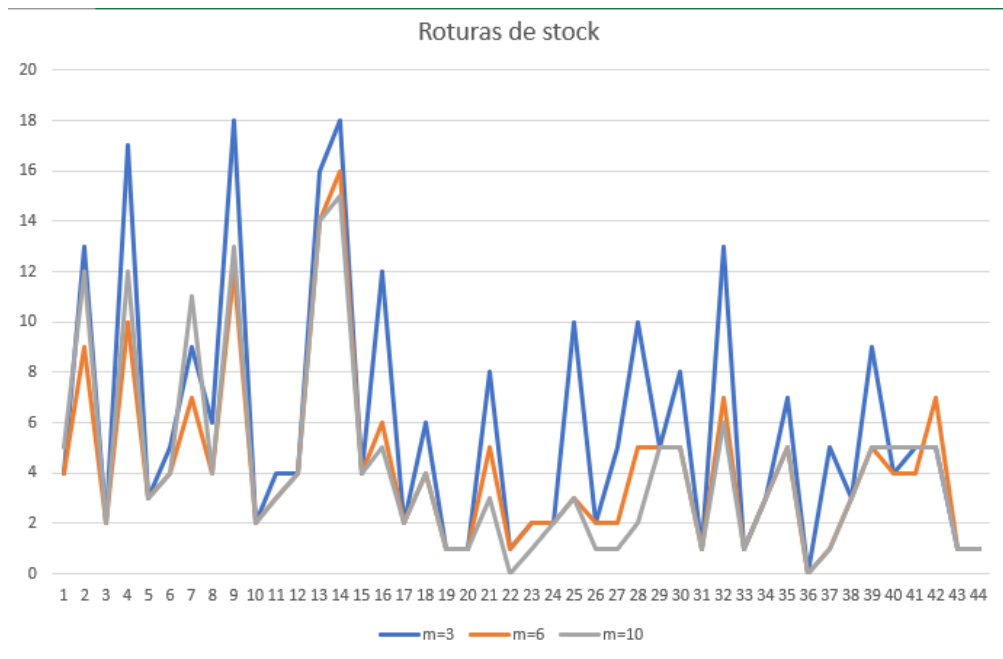


Figura 15 Roturas de stock con $m=3$, $m=6$, $m=10$ [fuente: elaboración propia]

3. Resultados

Una vez se tiene el Excel completo podemos extraer los resultados. Para ello se estudiarán las unidades de medicamento demandados que no se han podido satisfacer, es decir, se va a analizar cuándo el inventario de un medicamento está por debajo de 0. Cuando esto ocurre se denomina rotura de stock o backorder.

Al contar con un gran número de jornadas y de medicamentos, se hará una media ponderada de los resultados que se quiere obtener. Como se ha indicado en el capítulo I apartado 1 este proyecto se ha realizado a partir de los datos de 87 días, con unos valores de $m=10$, $L=2$ si se trata de un día entre semana y $L=3$ si se trata de fin de semana y $k= 2,32634787$. Gracias a esto se pueden extraer los siguientes resultados:

- Demandas no satisfechas al día: 2.07 [uds. de medicamentos demandados/día].



- Demandas totales al día: 368.45 [uds. de medicamentos demandados/día].
- Porcentaje de demandas no satisfechas al día: 0.55%.
- Las demandas no satisfechas provienen de 0.88 medicamentos, es decir, al terminar una jornada hay 0.88 medicamentos con backorders de media.

Las demandas no satisfechas pueden ocurrir porque se introduce un nuevo medicamento y al ser inventario inicial igual a cero se produce una rotura de stock, cuando en realidad se produce porque no hay datos previos de ese medicamento y no se puede pronosticar la demanda. A pesar de esto, el porcentaje de unidades de medicamento demandadas no satisfechas es de 0.54 %, lo cual es un valor que se acerca a lo esperado, ya que el nivel de servicio que se quiere dar es del 99%.

Con estos resultados se puede observar que el día mas crítico es el Domingo. Este resultado es lógico porque para el fin de semana hay que pronosticar la demanda de tres días (viernes, sábado y domingo) y en cambio entre semana se pronostica la demanda de dos en dos días. Es por ello que al pronosticar mas días se incurra en un error mayor y haya más roturas de stock.

También como resultado se obtiene las cantidades que se debe de suministrar al AAD para hacer frente a las demandas futuras. Estos datos le servirán al personal de Farmacia para saber que cantidad debe de encontrarse en el AAD y posteriormente, con la ayuda de su experiencia, podrán incrementar o disminuir esa cantidad introducida en el AAD.

Esta solución encontrada al problema es una posible, pero cambiando los diferentes parámetros se pueden conseguir otros resultados también válidos para el problema. A continuación, se muestran otros posibles resultados con diferentes valores de los parámetros:

- Si se mantiene el valor de la $m=10$ y de disminuye el nivel de servicio a 90%, se obtiene un porcentaje promedio de demandas no satisfechas de



1.54%, siendo 5.8 unidades de medicamentos demandados no satisfechos al día.

- Si se mantiene el nivel de servicio en 99% y se disminuye la m a la mitad, es decir, $m=5$, se obtiene un porcentaje promedio de demandas no satisfechas de 1.08%, siendo 4.04 unidades de medicamentos demandados no satisfechos al día.
- Por último, con $m=5$ y $K(0.85)=1.03643339$ el porcentaje medio de demandas no satisfechas es del 3.86%, siendo 14.4 unidades de medicamentos demandados no satisfechos diarios.



CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

Gracias a este proyecto se ha podido obtener unas cantidades de reposición para cada uno de los diferentes medicamentos que están registrados en el AAD. Estas cantidades han sido calculadas a partir de las demandas pasadas teniendo en cuenta el error cometido en los pronósticos de las anteriores jornadas, el tiempo de reposición y el nivel de servicio que se quiere dar. Con el documento de Excel creado se pueden introducir las demandas reales de las jornadas futuras a este proyecto, y también se pueden variar los valores de m (número de periodos que se tienen en cuenta para calcular la media móvil), L (tiempo de reposición) y k (nivel de servicio), dependiendo de los posibles cambios que pueda sufrir el problema o si se quiere conseguir otros resultados.

Con los valores de los parámetros escogidos podemos concluir que los resultados son satisfactorios, ya que solo el 0.546% de las demandas no se pueden satisfacer. Este valor esta dentro de lo esperado ya que se esta dando un 99% al nivel de servicio, es decir, un 1% de las demandas se supone que no se van a poder hacer frente. Como se ha mostrado en el anterior apartado de resultados, los valores escogidos para los parámetros en un inicio son los que mejores resultados han proporcionado al proyecto.

Los resultados de este proyecto pueden aplicarse al proceso de distribución de medicamentos que hay en el Hospital Universitario Virgen de Rocío, y también se puede utilizar para otros AAD de este hospital e incluso de otros hospitales que cuenten con un AAD en sus instalaciones, ya que solo es necesario un historial de demandas de los medicamentos utilizados en esa área clínica.

En líneas futuras se podría realizar este proyecto con una herramienta para pronosticar la demanda diferente a la empleada y comparar esos resultados con los obtenidos. De esta manera se podrían contrastar resultados y comprobar qué modelo es más efectivo.



En cuanto a los resultados obtenidos al modelar el proceso completo, un proyecto futuro podría ser el estudio de los posibles problemas que este proceso pueda presentar y buscarles una solución mejorando así la calidad de éste. También se podría simular este proceso con un software para encontrar dichos problemas.



CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

1. Bibliografía

- Aguirre Lasprilla, S., Ardila Rueda, W., Figueroa, L., & Romero Rodriguez, D. (Enero- Junio de 2015). Parametrización y evaluación de Política de Inventario (s,Q) en Hospitales: Un caso de estudio en la ciudad de Barranquilla. *Prospect*, 13(1), 99-105.
- Algoritmos, Procesos y Diseños S.A. (2014). *Oferta técnica del Armario Dispensador Automático*. Madrid.
- Bautista Chinchilla, K. (2015). Estado del arte de los modelos de optimización en la logística hospitalaria. Santader.
- del Pilar Faune Pinto, C. (28 de 06 de 2016). Rediseño de la gestión del stock de medicamentos de la farmacia de un hospital público. Santiago de Chile.
- Gil Zavaleta, E., & Rodriguez Collas, E. (2010). Sistema de pronóstico de la demanda de productos farmacéuticos basado en redes neuronales. Lima, Perú.
- Hernández, M., & Poveda, J. (2001). Sistema automático de dispensación de medicamentos. Barcelona.
- Izar Landeta, J. M., Ynzunza Cortés, C. B., & Zermeno Pérez, E. (15 de Agosto de 2015). Cálculo del punto de reorden cuando el tiempo de entrega y la demanda están correlacionadas. México.



- Jurado, I., Maestre, J., Velarde, P., Ocampo-Martínez, C., Fernández, I., Isla Tejera, B., & del Prado, J. (2015, Noviembre 19). Stock Management in Hospital Pharmacy using Chance-Constrained Model Predictive Control.
- Kritchanchai, D., & Meesarmut, W. (2015, Junio). Developing inventory management in Hospital. *Int. J Sup. Chain. Mgt*, 4(2), 11-19.
- Martínez San German, J. (Febrero de 2005). Métodos de modelado IDEF0 e IDEF3 y uso básico del programa BPWin.
- Méndez Giraldo, G. A., & López Santana, E. R. (abril - junio de 2014). Metodología para el pronóstico de la demanda en ambientes multiproducto y de alta variabilidad. *Tecnura*, 18(40), 89-102.
- Monzón Moreno, A., Merino Bohórquez, V., & Villalba Moreno, A. (2015). Evaluation of the efficiency of an automated dispensing cabinet (ADC) in a ward of internal medicine. *Revista de la OFIL*, 26(2), 103-108.
- Murphy, D. M. (22 de 01 de 2018). De qué se encarga la medicina interna y la importancia de la cooperación entre especialidades. (P. Pujante Crespo, Ed.)
- Orlando Lao-León, Y., Rivas- Méndez, A., Caridad Pérez-Pravia, M., & Marrero-Delgado, F. (enero- marzo de 2017). Procedimiento para el pronóstico de la demanda mediante redes neuronales artificiales. *Ciencias Holguín*, 23(1).
- Pérez González, P. (2018). *Apuntes asignatura Reingeniería de procesos*. Sevilla.
- Varón Gaviria, C. A., Barbosa Fontecha, J. L., Peña Gil, H. A., & Fonseca González, W. (s.f.). Modelos inventario Multi-Eslabón (revisión del estado del arte).



CAPÍTULO VII: ELEMENTOS ADICIONALES



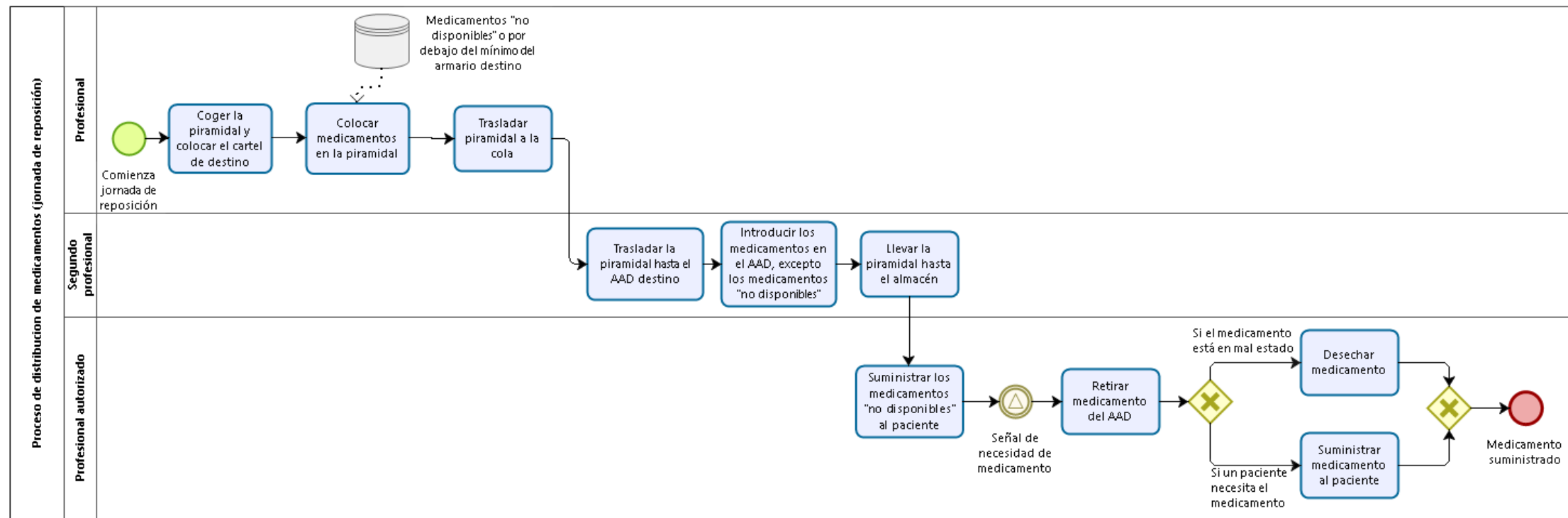


Figura 16 Procedimiento de suministro de medicamentos al AAD y finalmente al paciente en una jornada de reposición [fuente: elaboración propia]



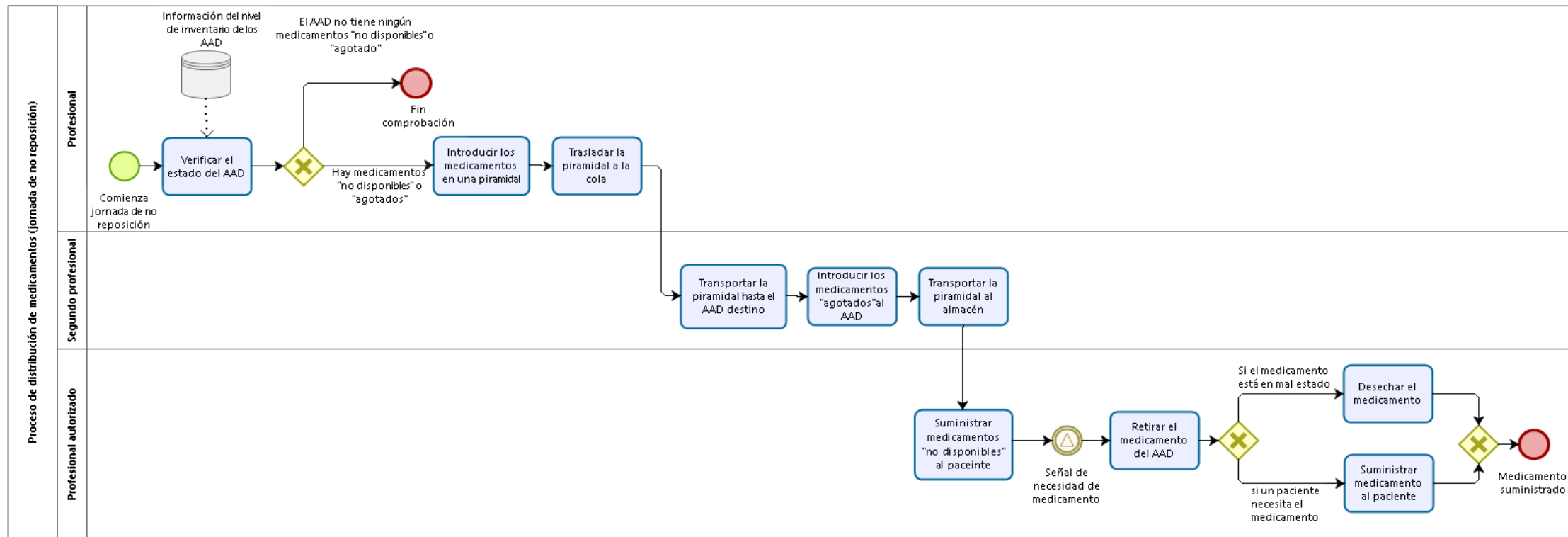


Figura 17 Procedimiento de verificación del estado del AAD en una jornada de no reposición [fuente: elaboración propia]

